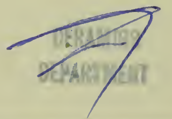


THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

666.3
Au7c



Digitized by the Internet Archive
in 2016

https://archive.org/details/lesceramiquescui00ausc

LES CÉRAMIQUES

CUISANT

A HAUTE TEMPÉRATURE

PAR

E.-S. AUSCHER

Ingénieur des Arts et Manufactures

AVEC TRENTE-CINQ FIGURES DANS LE TEXTE

PARIS

J. RUEFF, ÉDITEUR

106, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 106

—

1899

Tous Droits réservés.

666.3
A07c
CERAMICS
DEPARTMENT

LES CÉRAMIQUES

CUISANT

A HAUTE TEMPÉRATURE

INTRODUCTION

J'ai étudié dans ce volume toutes les poteries dont la pâte cuit à une température supérieure ou égale à 1300°C. Ces céramiques, différenciées par leur transparence seule, sont les porcelaines dures et les grès cérames. On peut dire que l'avenir est à ces deux matières; à l'une, reviennent les applications de l'art décoratif à nos objets de table, de toilette, de vitrine; à l'autre, les applications de l'architecte, de l'ingénieur, de l'hygiéniste.

En insistant comme je l'ai fait sur le choix des éléments céramiques, j'ai voulu indiquer que ce point est le plus important pour obtenir à la fois une matière belle et utile. Les usages, les décors, tout dérive de la composition judicieuse de la pâte, du choix habile des couches argileuses ou kaolinaires. Si j'ai peu dé-

Ceramics 24-7-19 W.H. Allen 108
46018

crit les mécanismes qui transforment la matière, c'est que l'on trouve aujourd'hui, chez tous les constructeurs spéciaux de machines céramiques, des catalogues illustrés très complets, remplis de tous les renseignements que l'on peut désirer.

Versailles, Avril 1896.

PREMIÈRE PARTIE

PORCELAINES DURES

CHAPITRE PREMIER

MATIÈRES COMPOSANT LES PATES ET COUVERTES

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La base essentielle de toute pâte à porcelaine dure consiste en un élément plastique, auquel viennent se joindre d'autres éléments fusibles ou dégraissants. Les Chinois qui ont fabriqué de la porcelaine bien longtemps avant que son existence ait été soupçonnée en Europe, se sont servis d'une terre blanche, fine, onctueuse, et surtout plastique, qu'ils appellent *kaolin*.

Ce mot kaolin, adopté en France, désigne aussi bien les roches kaoliniques pures que celles qui sont accompagnées d'éléments minéralogiques étrangers.

Les Chinois appellent avec raison le kaolin le *squelette* de la pâte à porcelaine.

Les autres éléments que comprend une porcelaine dure sont les *feldspaths*, les *matières siliceuses*, la

craie, les *micas*, etc. ; destinés à donner la fusibilité, la transparence ou d'autres qualités physiques.

Le kaolin qui est réfractaire, lorsqu'il est à un degré de pureté suffisant, est le plus important de tous les éléments qui composent les porcelaines.

Fraîchement extrait de la carrière, il se présente à nos yeux sous la forme d'une masse blanche, quelquefois teintée en rose, en jaune plus ou moins foncé, en gris, en vert. Cette matière, qui fait pâte avec un peu d'eau, et qui se délaye avec une proportion forte de ce liquide, est plus complexe qu'il ne semble à première vue.

Lorsque l'on procède au lavage ou délayage de cette matière, et que les particules fines de kaolin sont récoltées on trouve, d'une part, un résidu sableux composé généralement de grains de quartz de grosseurs différentes, de particules de feldspaths, de micas blancs, quelquefois de micas noirs bronzés, de pyroxène,d'amphibole, de sphène, de grenat, d'apatite, de cassitérite, de zircon, d'émeraude, etc.

On comprendra aisément qu'une matière d'une composition minéralogique aussi complexe puisse avoir une composition chimique très variable.

Le kaolin ne se rencontre que rarement en gîtes exploitables; c'est généralement dans les terrains anciens et notamment au milieu des roches éruptives que l'on trouve ses gisements.

Les kaolins sont le produit de la décomposition, ou *kaolinisation* des diverses sortes de feldspaths; c'est donc dans les gisements des roches éruptives à base

de feldspath que l'on aura le plus de chances de découvrir des roches kaolinaires.

Les gisements exploités actuellement à l'étranger sont ceux de la Chine, du Japon, du pays de Cornwall (Angleterre), de Saxe, de Bavière, de Bohême, etc.

En France, les gisements donnant lieu aux exploitations les plus importantes sont situés dans les départements de la Haute-Vienne, de l'Allier, de la Dordogne; des tentatives d'exploitation ont été faites dans les Pyrénées, en Bretagne, etc.

Le kaolin, qui est un silicate d'alumine hydraté, lorsqu'il est chimiquement pur, est le produit de la décomposition des feldspaths albite ou orthose; pourtant d'autres silicates d'origine ignée, en se décomposant donnent aussi des kaolins.

J'étudierai donc, avant le kaolin, le feldspath qui est lui aussi d'une grande importance en céramique.

DES FELDSPATHS

Des différents minerais de feldspath. — Les feldspaths se rencontrent dans les terrains d'origine ignée sous divers aspects :

1° *Feldspaths purs.* — On connaît en Suède, en Norvège, dans le Dauphiné, etc., des gisements (dont quelques-uns exploités) de feldspath orthose pur. Mais c'est là l'exception et généralement le feldspath est intimement mélangé à d'autres éléments.

2° *Pegmatites.* — Je signalerai ensuite comme minerai de feldspath, la pegmatite, sorte de granite à très

gros grains, composé de feldspath, de mica et de quartz, où ces éléments forment des espèces d'amas distincts réunis et accolés les uns aux autres.

Souvent le mica est peu abondant; tel est le cas de la pegmatite de Saint-Yrieix (Haute-Vienne).

3° *Grânites.* — Une forme bien plus répandue des roches feldspathiques est la forme granitique, granulitique ou microgranulitique. Les granites sont, géologiquement parlant, des agglomérations de quartz, de feldspaths et de micas blancs généralement cristallisés. Mais on rencontre fréquemment dans ces granites des micas de diverses couleurs, de la tourmaline, de l'émeraude, du zircon, de la topaze, du sphène, de l'amphibole, des grenats, de l'apatite, de la magnétite, etc., etc.

4° *Porphyres.* — Dans ces roches compactes, les feldspaths, et surtout le feldspath orthose constituent des couches ou des amas considérables quelquefois colorés par des matières étrangères (fer, manganèse etc.). On rencontre dans la masse des cristaux d'orthose, d'albite ou d'autres feldspaths qui forment sur la pâte foncée des taches claires parallélogrammiques.

5° *Trachytes.* — Mélangé à l'amphibole, le feldspath constitue certaines diorites, roches composées fort analogues à la syénite.

Nature minéralogique des feldspaths. — Les feldspaths sont des roches suffisamment dures pour rayer le verre; à haute température, ils fondent en donnant un émail blanc ou un verre bulleux (quelquefois coloré par des matières étrangères). Leurs cristaux

nombreux et variés présentent au premier aspect une grande ressemblance ; mais, en réalité, ils se rapportent à deux types : les uns, comme l'orthose, au prisme rhomboïdal oblique ; les autres, comme l'albite, l'oligoclase, la labradorite, appartiennent au prisme oblique obliquangle[1] ; tous présentent des clivages assez faciles, mais dans ceux de la première série, deux des faces produites se rencontrent à angle droit, tandis que dans les autres, toutes ces faces se rencontrent obliquement.

Tous ces feldspaths sont des silicates anhydres d'alumine et de potasse, de soude, de chaux.

Les feldspaths les plus connus sont l'albite, l'orthose et la labradorite, mais il existe un nombre considérable de variétés.

On admet aujourd'hui que le feldspath résulte de la combinaison d'un certain nombre d'équivalents de silice, SiO^2, avec un nombre déterminé d'équivalents d'oxydes métalliques répondant soit à la formule RO, où R désigne un radical métallique quelconque (ordinairement potassium, sodium et calcium), soit à la formule R^2O^3 (où R est surtout de l'aluminium)[2].

Si a désigne la quantité d'oxygène contenue dans les oxydes RO ; b celle contenue dans les oxydes R^2O^3 ; enfin c l'oxygène de la silice ; le rapport $a : b : c$, est constant. Quant à la valeur de ce rapport elle donne lieu à la constitution de deux familles : l'une pour laquelle $a : b : c = 1 : 3 : m3$, et l'autre pour laquelle a :

1. Beudant, *Cours de minéralogie*, Paris, 1851, p. 270.
2. A. de Lapparent, *Traité de géologie*, Paris, 1885.

$b : c = 1 : 3 : n4$; m et n étant deux nombres entiers[1].

A la première classe appartiennent l'*orthose*, feldspath potassique, la *sanidine*, l'*albite*, feldspaths sodiques et le *microcline;* leur rapport est 1 : 3 : 12; ce sont donc les plus siliceux de toute la série; l'*oligoclase* sodico-calcique 1 : 3 : 9 et le *labrador* surtout calcifère 1 : 3 : 6.

A la seconde classe appartiennent la *leucite* ou *amphigène*, potassique 1 : 3 : 8, la *néphéline*, sodique, l'*anorthite* calcaire 1 : 3 : 4; l'*andésine* 1 : 3 : 8, pourrait bien être un *oligoclase* altéré.

Il est possible de rattacher à ces corps les feldspaths lithinifères (triphane et pétalite) et d'autres peu étudiés contenant du chlore et de l'acide sulfurique[2].

Nature chimique des feldspaths. — Si l'on étudie les formules chimiques de ces divers corps, on trouve les chiffres suivants [3] :

Anorthite . .	CaO Al^2O^3 $2SiO^2$
Labradorite.	CaO Al^2O^3 $3SiO^2$
Andésine . .	RO Al^2O^3 $4SiO^2$ où RO représente soit KO + CaO soit NaO + CaO.
Oligoclase. .	NaO Al^2O^3 $5SiO^2$
Albite. . . .	NaO Al^2O^3 $6SiO^2$
Orthose. . .	KO Al^2O^3 $6SiO^2$.

Tous ces corps sont insolubles dans l'eau; l'anorthite et la labradorite sont attaqués difficilement par l'acide chlorhydrique bouillant, mais un peu plus

1. A. de Lapparent, *Traité de géologie*, Paris, 1885.
2. A. de Lapparent, *Traité de géologie*, Paris, 1885.
3. Wurtz, *Dictionnaire de chimie*, t. I, pp. 1400 et suivantes

facilement par l'acide sulfurique concentré ; l'andésine est plus difficilement attaquable que l'anorthite et la labradorite ; enfin l'oligoclase est presque inattaquable, et l'albite et l'orthose complètement inattaquables par les acides chlorhydrique et sulfurique concentrés.

En résumé les acides attaquent d'autant plus ces divers corps qu'ils sont moins siliceux : ce sont les plus riches en alcalis qui sont le plus attaqués. Il résulte de diverses expériences comparatives que j'ai faites à mon laboratoire sur des échantillons cristallisés et déterminés minéralogiquement que, à quantité de silice égale, les feldspaths calcaires sont plus attaqués par l'acide sulfurique que les feldspaths potassiques ou sodiques.

En prenant pour exactes les formules des feldspaths du *Dictionnaire de chimie* de Würtz citées plus haut et en calculant leur teneur centésimale, on arrive aux chiffres suivants :

	Anorthite.	Labradorite.	Andésine.	Oligoclase.	Albite.	Orthose.
Silice.	43,01	53,10	59,80	64,52	68,91	64,60
Alumine . . .	36,92	30,39	25,72	22,15	19,23	18,48
Chaux	20,07	16,51	6,97	»	»	»
Potasse. . . .	»	»	»	»	»	16,92
Soude	»	»	7,71	13,33	11,86	»

Quelques-uns de ces résultats, absolument théori-

ques, se rapprochent de ceux que l'on trouve en analysant les feldspaths les plus employés dans les arts céramiques; je réunis en un tableau quelques analyses de feldspaths se rapprochant de l'orthose :

	FELDSPATHS ORTHOSES DE			
	NORVÈGE (Uddevalla).	BOHÊME (Carlsbad).	CHANTELOUBE (Limoges).	CAMBOO (Pyrénées).
Silice.	64,44	63,11	64,00	64,00
Alumine. . . .	18,75	19,76	20,56	21,00
Chaux.	0,27	2,27	0,38	»
Potasse. . . .	13,82	14,57	14,99	13,00
Soude.	2,40	»	»	»
Oxyde de fer. .	0,65	0,45	»	»
Perte au feu. .	»	»	»	»
Analystes . .	Bischoff.	Bischoff.	D'ap. Tenax.	V. Regnault

Voici quelques types se rapprochant de l'albite :

	BESSINE (Limoges).	BESSINE (Limoges).	AIXE-SUR-VIENNE (Limoges).
Silice.	67,90	65,52	68,07
Alumine.	18,04	17,01	17,83
Chaux.	0,17	0,23	0,10
Potasse.	0,21	2,01	0,42
Soude.	13,01	15,07	13,45
Oxyde de fer	0,39	0,19	0,12
Perte au feu.	0,28	0,39	0,27
Analystes	Auscher.	Auscher.	Auscher.

On ne rencontre du reste parmi les feldspaths industriels à peu près purs que les feldspaths orthoses que j'énumère ci-dessus.

La nature irrégulière des gisements a empêché bien des exploitations industrielles de s'établir.

La facilité de décomposition, de kaolinisation des feldspaths calcaires, est sans doute cause que l'on rencontre rarement ces feldspaths en masses un peu abondantes à la surface du globe; pour les feldspaths potassiques et sodiques, il est à remarquer que les gisements des feldspaths potassiques sont plus abondants et plus abondamment distribués dans les terrains d'origine ignée que les feldspaths à base de soude. Du reste, la plupart des feldspaths utilisés industriellement ne sont pas des feldspaths, mais bien des pétrosilex, des pegmatites, des granites ou granulites imparfaits où l'élément mica domine peu.

Des pegmatites. — Les *pegmatites* sont des roches granitiques. Dans son *Cours de géologie*, Beudant les définit de la manière suivante : « les peg-« matites sont des granites où les trois principes « (feldspaths, quartz et micas) se retrouvent en « grand, formant chacun de gros amas distincts « accolés les uns aux autres [1]. »

De même que dans les granites, un des éléments peut être plus ou moins abondant, et même, faire défaut dans les pegmatites. On peut dire que les pegmatites employées industriellement sont des roches

1. BEUDANT, *Cours de géologie*, Paris, 1851.

dans lesquelles les micas colorés font totalement défaut et dans lesquelles les micas blancs (muscovites et lépidolithes) sont peu abondants. Tantôt la forme cristalline des feldspaths apparaît, tantôt le quartz forme avec le feldspath comme un magma à cassure conchoïde, où l'œil ne découvre aucune trace de cristallisation. Les pegmatites employées industriellement se rencontrent dans les terrains primaires et sont employées concurremment avec les *granites*, *granulites*, ou *microgranulites*, à faible teneur en fer et dont une légère kaolinisation permet l'exploitation; généralement ce sont des roches complexes où l'élément mica ne prédomine pas. Celles qui sont le plus employées sont celles qui ont la composition la plus constante.

On connaît en France :

1° Les pegmatites de *Bretagne*, où il en existe des filons enclavés dans des filons de microgranulite (aucune exploitation industrielle n'a été tentée);

2° Les nombreux filons de pegmatite du *Limousin;* je signalerai d'abord le gisement de Saint-Yrieix (Haute-Vienne), exploité depuis plus d'un siècle, dont la roche a été étudiée avec soin et qui est le type de ce genre d'exploitations. Sa direction est sensiblement parallèle à celle des filons kaolinaires de la même région. Quelquefois la roche, d'une dureté extrême, est absolument pure, inaltérée; d'autres fois, surtout dans le voisinage des terrains encaissants, elle a subi une légère décomposition kaolinaire; les micas y sont peu abondants. J'ai pu constater rare-

ment des cristaux bien nets de muscovite disséminés dans une masse relativement grande de quartz et de feldspaths ; les cassures qui se sont produites dans la masse sont imprégnées de sortes de dentrites, tantôt de peroxyde de fer, tantôt de peroxyde de manganèse ; mais la quantité de ces deux métaux est infinitésimale, et n'influe point sur la blancheur du produit après cuisson.

Voici quelques analyses de ce produit :

Pegmatite de Saint-Yrieix (Haute-Vienne).

	ANALYSTES.				
	EBELMEN et SALVÉTAT (Sèvres).	LABORATOIRE DE Sèvres. 1885.	TENAX.	AGENDA du chimiste, 1893.	AUSCHER, 1892.
Silice. . . .	76,10	70,93	73,3	74,6	72,05
Alumine . .	15,37	17,49	18,3	16,0	17,52
Chaux . . .	0,17	2,10	6,6	1,2	1,75
Magnésie. .	traces	0,31	»	»	0,41
Potasse. . .	2,84	4,34	8,5	8,1	5,12
Soude . . .	4,58	4,19	»	»	3,09
Fer (Fe^2O^3).	0,13	»	»	»	0,07
Eau.	0,40	»	»	»	0,00
Perte. . . .	0,41	0,34	0,30	»	0,19

Comme on le voit, cette matière ne se rapporte ni à l'albite, ni à l'orthose, qui contiennent 69 ou 65 p. 100 de silice ; on y constate une proportion de silice bien supérieure, variant de 70 à 76, à cause de l'irrégularité du gisement.

Cet excès de silice est dû tant à un excès de quartz qu'à la présence des micas.

La pegmatite de Saint-Yrieix, broyée finement, après calcination à une température d'environ 1100° C. dans le *globe* des fours à porcelaine, constitue à elle seule la couverte ou émail des porcelaines dures fabriquées à Sèvres depuis plus d'un demi-siècle.

Sa teneur moyenne en silice, alumine, etc., semble avoir varié d'une façon assez notable; la proportion différente des alcalis et leur nature, indiquée par les chimistes qui les ont analysés, montrent qu'à l'époque où Ebelmen et Salvétat ont analysé cette matière (1851), elle contenait environ 1 de potasse pour 2 de soude; l'analyse de Sèvres (1881), indique parties à peu près égales de potasse et de soude; l'analyse de Tenax[1], due sans doute à Bischof, n'indique plus que de la potasse.

On comprend ces contradictions, si l'on songe à la difficulté qu'il y a pour le chimiste à séparer la soude et la potasse; il faut tenir compte également de la présence des micas, souvent invisibles sur la roche brute et qui interviennent et jouent un rôle important dans le résultat final.

3° On rencontre encore dans le Limousin un grand nombre de filons de pegmatites; je citerai ceux des environs de Bourganeuf, du Vigen, de Bessine et de Chanteloube (où l'on trouve des filons de feldspath

1. Tenax, *Die Steingut und Porzellanfabrikation*, Leipzig, 1879.

presque purs, et d'autres excessivement complexes), d'Aixe-sur-Vienne, etc., etc.

La plupart de ces gisements sont moins nets comme composition géologique que le gisement de Saint-Yrieix. On constate dans les filons de *Bourganeuf*, du quartz, du feldspath orthose, du mica blanc, de l'apatite, de la tourmaline, des grenats ; au *Vigen*, des quartz, du feldspath orthose, de l'albite, des micas bruns, des micas gris, des micas blancs, du zircon et de la tourmaline ; quelquefois, ces éléments sont plus ou moins décomposés ; à Bessine (et dans cette région se trouvent les carrières de Razès et de Chanteloube), on rencontre des filons complexes de quartz, d'oligoclase, d'orthose, contenant des émeraudes (silico-aluminate de glucine), de la tourmaline, des micas excessivement variables d'aspect, et parmi lesquels les lépidolites abondent ; en certaines parties de leur cours, les filons ont subi un commencement de kaolinisation. Lorsque cette kaolinisation s'est produite dans des parties un peu étendues, et lorsque le produit semble blanc, la roche imparfaitement décomposée, malgré sa composition éminemment complexe et variable, est utilisée pour la composition des porcelaines.

Je joins aux analyses des pegmatites de ces diverses carrières celle de la roche de Bessine décomposée.

	RAZÈS.	BOURGANEUF.	VIGEN.	VIGEN.	BESSINE.	ROCHE décomposée de Bessine.
Silice	68,85	68,10	71,85	72,90	72,55	66,50
Alumine. . .	16,17	17,75	15,40	15,10	14,90	20,47
Alcalis. . . .	14,15	13,35	12,22	11,05	11,00	11,10
Eau.	0,35	0,31	0,24	0,31	0,42	1,07
Fer.	0,18	0,48	0,16	0,27	0,51	0,72
Perte	0,30	0,01	0,13	0,37	0,62	0,14

Pour toutes ces analyses faites à mon laboratoire, les alcalis n'ont pas été séparés; les chiffres indiqués sont des moyennes, les produits d'une même carrière donnent des résultats assez différents; les moyennes ont été établies d'après les règles qui président aux mélanges dans les fabriques qui emploient ces roches.

4° Je signalerai encore le gisement de *Montebras* (Creuse) où, dans une région excessivement riche en cassitérite, on rencontre une microgranulite à peine décomposée, très peu riche en fer, et qui a été, dans la porcelaine dure, substituée aux pegmatites; dans la faïence fine, à la cornwallite ou cornishstone d'Angleterre.

L'examen minéralogique de cette roche donne : du quartz bipyramidé, du feldspath albite, de l'orthose, du kaolin, de la lépidolithe, de la cassitérite, de l'apatite, de la tourmaline; on constate plus rarement l'ambligonite (riche en lithine), des micas lithini-

fères et fluatés, semblables d'aspect à la lépidolithe, mais d'une cristallisation très différente.

Cette roche a été de ma part l'objet d'une attention toute particulière, par suite des recherches que j'ai faites sur l'influence du fluor dans la kaolinisation des roches granitiques profondes[1]. Après avoir récolté divers échantillons sur place, j'ai analysé celui qui me semblait être le type moyen de la roche employée industriellement. Voici le résultat de l'analyse :

Silice	80,38	
Alumine.	11,35	
Chaux et magnésie.	0,17	
Potasse	2,35	
Soude	2,17	
Lithine.	0,35	
Peroxyde de fer. .	0,16	
Eau.	1,85	
Cassitérite SnO^2. .	0,51	
Fluor	»	Non dosé, présence constatée.
Perte	0,71	
	100,00	

Cette roche est moins fusible que le feldspath et que la pegmatite.

Dans le centre de la France, il y aussi quelques filons de granulite exploités, notamment aux environs de Lurcy-Lévy (Allier), dans les Pyrénées, etc.

On remarquera que ces roches ne contiennent jamais une quantité de chaux notable ; c'est toujours la soude et la potasse qui sont les alcalis prédominants ; l'examen microscopique, l'étude minéralogique n'ont du

1. E. S. AUSCHER, *Origine géologique des Eaux minérales du Bassin de Vichy.*

reste jamais décelé la présence des feldspaths calcarifères ou à base de soude et de chaux (anorthite, labradorite, andésine), au contraire la présence des micas (muscovites ou lépidolithes) est constante, en plus ou moins grande quantité, suivant les conditions géologiques des gisements.

Je m'étendrai peu sur les gisements de l'étranger, les produits exploités en Angleterre (cornwallite ou cornishstone) se rapprochant beaucoup des produits de Montebras, par la texture et le point de fusion; ceux exploités en Bohême ou en Bavière se rapprochent des feldspaths de Norvège ou des pegmatites de Saint-Yrieix. Quant aux pétro-silex ou petun-sé des Chinois, ils semblent de tous points analogues à des pegmatites de Saint-Yrieix; mais l'élément micacé y est un peu plus abondant.

Voici quelques analyses de ces produits :

	CORNWALLITE (Pays de Galles).	PÉTRO-SILEX (Chine).	FELDSPATH DE RATISBONNE (Bavière).
Silice.	74,34	76,10	87,78
Alumine.	18,40	15,37	7,36
Chaux et magnésie. .	0,24	0,17	0,29
Potasse.	6,00	2,84	1,60
Soude.	»	4,58	1,00
Fer.	»	0,13	0,84
Eau et perte.	0,96	0,81	1,34
	Ebelmen	Malaguti	Tenax

On emploie également, en céramique, pour utiliser

l'élément feldspath, quelques kaolins caillouteux à peine décomposés (Marsac, Marcognac, Coussac-Bonneval) et des sables siliceux contenant un peu de feldspath (Decize).

DU KAOLIN

Origine du kaolin. — Le feldspath en se décomposant, en s'altérant sous diverses influences, se transforme en *kaolin*. On peut dire avec Ebelmen[1] que les produits de la décomposition kaolinaire des roches ignées ont formé la plupart des terrains sédimentaires.

Brongniart[2], étudiant en 1833 une classification chimique des espèces minérales, montrait les relations entre les silicates alumineux d'origine ignée et les silicates alumineux hydratés, et, dans une de ses leçons de 1833 au Muséum d'histoire naturelle, expliquait, autant qu'on pouvait le faire dans l'état de la science à cette époque, les réactions de décomposition des roches ignées.

Plus tard en deux mémoires publiés dans les *Archives* du Muséum d'histoire naturelle, ce savant étudiait plus complètement la composition[3] et l'origine[4] des kaolins. Il montrait que le kaolin se rencontre généralement dans la nature sous forme de roche kaolinique

1. Ebelmen, *Chimie céramique*. Paris, Mallet, 1861.
2. Brongniart, *Tableau des espèces minérales*. Paris, Roret, 1833.
3. *Archives du Muséum d'histoire naturelle*, art. de Brongniart, 1839, t. I, p. 213.
4. Brongniart et Malaguti, 1841, t. II, p. 117.

englobant des produits de décomposition et de désagrégation de roches granitiques. Puis en 1844[1] il indiquait que le kaolin, seul de toutes les roches, était soluble dans l'acide sulfurique concentré.

Dès cette époque l'attention des géologues se trouvait portée sur les produits de décomposition des roches silico-alcalines et Laurent, puis Ebelmen dans des études approfondies, basées sur des analyses nombreuses, décrivaient un grand nombre de roches ignées et leurs produits de décomposition[2].

Ebelmen étudiait non seulement les altérations des roches feldspathiques proprement dites, mais bien aussi celles des basaltes, des trapps, des silicates de manganèse, etc., etc.

Par une analyse complexe de basalte, il démontre de la façon la plus claire, que les bases sauf l'alumine sont entraînées ; que le fer se suroxyde avant d'être enlevé par les eaux ; quant à l'excès de silice, il est éliminé grâce à la solubilité de la silice gélatineuse dans les eaux chargées d'acide carbonique.

Il constate, ce qui du reste est visible dans les gisements de kaolin du département de l'Allier, que la roche intacte et la roche décomposée sont séparées par une couche plus ou moins épaisse de fer peroxydé. Cette matière à son tour est réduite et protoxydée par les matières organiques voisines du sol ; le sel de protoxyde filtre à travers le sol; lorsque ces eaux ferrugineuses rencontrent l'air, elles absorbent de

1. Brongniart, *Traité des arts céramiques*. Paris, 1844, t. I, p. 405.
2. Ebelmen, *Chimie céramique*. Paris, Mallet, 1861, t. I et II.

l'oxygène et forment des dépôts ocreux. Ces réactions fréquentes dans les gisements kaolinaires altèrent souvent la blancheur si appréciée du produit.

Il constate également que la roche complexe qu'il étudie perd d'abord les alcalis qu'elle contient, ensuite le fer ; puis l'hydratation se fait et il semble que l'eau remplace les bases dissoutes, équivalent pour équivalent; l'alumine reste unie à la silice. Les altérations se présentent d'abord et plus complètement pour les éléments feldspathiques, ensuite pour les éléments pyroxéniques, pour le péridot, etc.

Brongniart supposait que ces phénomènes étaient dus à une action électrique ou magnétique. Ebelmen attribue à l'action de l'acide carbonique et de l'eau ces phénomènes de décomposition.

Dès 1824, M. Buch donne comme origine au kaolin de Halle (Saxe) l'action de l'acide fluorhydrique sur le porphyre ; il signale des cristaux de fluorine dans la masse décomposée. Les travaux de Daubrée confirment ces faits. Il signale à Carglaze et à Huelgoat (Bretagne) des cas de substitution de cristaux de cassitérite (oxyde d'étain) à des cristaux de quartz et de feldspath.

M. Mallard[1], frappé des analogies des gisements stannifères de Montebras (Creuse), du Limousin, etc., avec les gisements kaolinaires, attribuait au fluor une part prépondérante dans les phénomènes de décomposition des roches qui contiennent ces éléments.

1. Mallard, *Étude sur les gisements stannifères du Limousin et de la Marche.*

Les travaux que j'ai faits (1888-1892) sur place, dans un grand nombre de gisements kaolinaires de France et de l'étranger, m'ont conduit à étudier plus complètement l'action du fluor sur les roches d'origine feldspathique, et à expliquer divers points restés obscurs dans les phénomènes d'altération ou de non-altération des roches granitiques[1] :

C'est surtout par l'étude des analyses des eaux sortant directement ou indirectement des terrains cristallins, que j'ai été frappé de voir que la plupart des eaux minérales jaillissant dans le voisinage de ces terrains étaient peu riches en potasse et riches en soude. De même, l'eau de mer est fort riche en soude et en magnésie ; le calcium et le potassium y sont très peu abondants.

J'ai été ainsi conduit à étudier au laboratoire l'action de l'acide fluorhydrique sur divers feldspaths et granites.

L'action de l'acide fluorhydrique sur la silice (à l'abri de toute trace d'humidité) donne lieu au fluorure de silicium, corps gazeux très dense.

Ce fluorure, au contact de l'eau ou de la vapeur d'eau, se décompose à son tour en silice gélatineuse et en acide hydrofluosilicique.

Cet acide, au contact de sels alcalins, produit des fluosilicates plus ou moins solubles.

Voyons donc quelle sera l'action de l'acide fluorhydrique sur une granulite non décomposée, c'est-à-dire

1. E. S. Auscher, *Origine géologique des eaux minérales naturelles du bassin de Vichy*. Paris, 1892.

présentant après passage à une température élevée (800° C.) une perte de moins d'un demi pour cent ($0^{gr},5$ p. 100 gr.); et cela en opérant non pas sur une matière impalpable (ainsi qu'on le fait lorsqu'on procède à une analyse de silicates) mais sur des morceaux bruts d'une vingtaine de grammes.

L'acide fluorhydrique va s'attaquer au quartz et formera du fluorure de silicium qui se décomposera en silice et en acide hydrofluosilicique; le feldspath donnera lieu à la fois à du fluorure de silicium et à un florure alcalin; il en résultera que le produit final par l'action du fluorure alcalin sur l'acide hydrofluosilicique sera un fluosilicate alcalin.

Or le fluosilicate de potasse et celui de soude présentent des caractères très différents :

Le fluosilicate de potasse est très peu soluble dans l'eau froide; l'eau chaude en dissout à peine plus. Il faut 833 parties d'eau à 17°,5 et 104 parties d'eau à l'ébullition pour dissoudre 1 partie de sel. La présence d'autres sels de potasse (carbonates, silicates, etc.) diminue encore la solubilité de ce silicate[1]. Le fluosilicate de soude est beaucoup plus soluble que le sel potassique et beaucoup plus soluble dans l'eau bouillante que dans l'eau froide[2]. Il faut de 72 à 110 parties d'eau suivant sa température, pour dissoudre 1 partie de fluosilicate de soude.

On peut donc dire que le fluosilicate de soude est 8 fois plus soluble que celui de potasse.

1. *Journal fur Prakt. Chem.*, t. XC, p. 193 et t. CIII, p. 396.
2. Wurtz, *Dict. de Chimie*, p. 1477.

J'ai soumis à l'action de l'acide fluorhydrique dans des vases de gutta-percha des fragments de granites et de feldspaths; ils ont présenté après l'attaque des caractères très différents.

Un granite à feldspath rose A (provenant du Mayet-de-Montagne) et ne contenant que de l'orthose; un granite à feldspath blanc B (provenant d'Échassières (Allier) et semblant ne contenir que de l'albite; un fragment de feldspath C provenant de Uddevalla (Suède), de couleur rose et donnant chimiquement et minéralogiquement tous les caractères de l'orthose pure; un fragment d'albite pure D (provenant du Dauphiné), ont servi aux expériences que je rapporte.

Trois témoins de chaque roche ont été soumis à l'attaque; la première série a été retirée après 24 heures; la deuxième série après 48 heures; la troisième après 96 heures d'attaque.

Le tableau suivant indique les pertes en poids subies par chacun des échantillons, après lessivage prolongé dans l'eau bouillante.

PERTE EN POIDS	GRANITE A.	GRANITE B.	FELDSPATH C.	FELDSPATH D.
Après 24 h. . .	2,17	7,10	3,22	9,05
— 48 h. . .	2,21	11,25	3,42	10,25
— 96 h. . .	2,35	16,10	3,65	14,18

Ces chiffres indiquent clairement : 1° que les silicates potassiques A et C sont peu attaqués et que le prolongement de l'attaque n'augmente que peu leur

décomposition; cette décomposition est fonction de leur surface et non de leur volume; 2° que la réaction est progressive pour les silicates sodiques B et D, et est en quelque sorte fonction du temps. Ceci ne peut s'expliquer que par la différence de solubilité des fluosilicates de potasse et de soude. On constate de plus sur les échantillons A et C que la poudre blanchâtre qui les englobe est excessivement ténue, et forme comme une enveloppe protectrice; les échantillons B et D sont couverts de gros grains blancs dont les interstices permettent sans doute le passage de l'acide fluorhydrique et de la vapeur d'eau.

Certes l'action de la nature, lente et progressive, n'a pu être imitée au laboratoire, mais si les faits se sont passés de la même manière dans les gisements granitiques, la présence dans les dépôts salifères d'un grand excès de soude, par rapport aux autres alcalis, me semble expliquée par ces réactions. Il est de plus probable, sinon certain, que ces fluosilicates ne sont qu'un produit intermédiaire de décomposition. Sous l'influence de la température des régions profondes, par l'action de l'acide carbonique qui existe abondamment dans tous les terrains d'origine ignée ainsi que l'a constaté M. Lévy[1], ces fluosilicates, en présence de l'acide carbonique, réagissent à leur tour sur les feldspaths et le produit final de la décomposition doit être le kaolin.

On peut exposer ainsi qu'il suit cette réaction :

$$SiFl^2, NaFl + NaO, Al^2O^3, 6Sio^2 + Aq + Co^2 =$$
$$2SiO^2, Al^2O^3, 2HO + 5SiO^2 + 2(NaO, CO^2) + 3HFl.$$

1. M. Lévy, *Structure microscopique des roches anciennes.*

alors que, si l'on ne tient pas compte des réactions du fluor, on explique généralement la décomposition du feldspath par l'action de l'acide carbonique :

$$\text{Nao,Al}^2\text{O}^3\text{,6SiO}^2 + \text{Aq} + \text{CO}^2$$
$$= \text{2Sio}^2\text{,Al}^2\text{O}^3\text{,2HO} + \text{Aq} + \text{4Sio}^2\text{,Nao} + \text{CO}^2.$$

J'ai été naturellement conduit à rechercher la présence du fluor dans les roches kaolinaires. Dans les unes, l'indication était rendue évidente par la présence de lépidolites, micas riches en fluor[1]; dans d'autres l'analyse seule pouvait renseigner.

J'ai constaté la présence du fluor en quantité appréciable dans les gisements de kaolins du Limousin (Marsaguet, Marcognac, Fargetas) ainsi qu'à Montebras (Creuse) et à Échassières (Allier); en quantité moins abondante, dans les gisements de La Jonchère, des Colettes et de Bohême, où il y a moins de lépidolites. Enfin dans le gisement des Eyzies (Dordogne) je n'en ai point trouvé. On peut donc supposer que le fluor a joué un grand rôle dans les kaolinisations profondes comme celles du Limousin ou de la région d'Échassières.

On fera bien toutefois de distinguer les kaolinisations superficielles que l'on constate dans tous les terrains granitiques, porphyriques et basaltiques contenant des bases alcalines ou alcalino-terreuses. L'action de l'acide carbonique de l'air et des eaux, celles de l'acide nitrique qui se produit dans l'air, au

1. A. DE LAPPARENT, *Traité de Géologie*. Paris, 1885, p. 567.

moment des orages, les produits de sécrétion de divers animaux qui vivent dans la terre arable (vers de terre, urochœtas, etc.), enfin les acides contenus dans la terre arable elle-même, expliquent facilement cette action qui dénude lentement les montagnes d'origine ignée. Les silicates fondus ou cristallins se transforment en argiles; la silice est entraînée par l'eau chargée d'acide carbonique ; souvent, quand les pentes sont un peu fortes, l'argile se délaye, est entraînée par les eaux et il reste en place des dépôts plus ou moins abondants de sables quartzeux et micacés que les géologues appellent les dépôts arénacés.

Gisements de kaolin. — Les kaolins résultant d'altérations profondes se rencontrent dans les terrains granitiques; généralement les terrains encaissants sont des micaschistes ou des gneiss très anciens, souvent altérés partiellement, au milieu desquels ces granites, granulites ou pegmatites forment des filons ou des amas très irréguliers. Le kaolin chimiquement pur n'y existe que mélangé intimement à du quartz, à des feldspaths non décomposés et à des micas; on rencontre également, en petite quantité, d'autres éléments minéralogiques.

Je diviserai les gisements kaolinaires en :

a) Gisements d'origine granulitique;

b) Gisements d'origine pegmatitique ;

c) Gisements stratifiés.

Et j'étudierai un seul de chacun de ces gisements à cause de la grande analogie des gisements de même division.

a) *Gisements d'origine granulitique.* — Je prendrai comme type le gisement de La Jonchère (Haute-Vienne).

Au milieu d'une bande de gneiss on voit apparaître avec l'orientation Nord 75°, à 75° Ouest, plusieurs filons granulitiques décomposés.

Ces filons sont parallèles; la granulite n'a pas la même couleur dans les divers filons. Plusieurs filons (filon des Vignes, filon du Buisson, filon de Noulia) sont exploités actuellement; leur épaisseur dépasse vingt-cinq mètres; sur les bords, dans le voisinage des roches gneissiques, on rencontre d'abord une couche ocreuse et limoneuse, puis vient la roche granulitique décomposée très compacte, traversée par des filons quartzeux formant comme un réseau parallèle à la direction des filons. Le quartz s'y trouve à l'état amorphe ou cristallisé.

La granulite décomposée, désagrégée par l'eau sous pression, donne une *décantée* plus ou moins argileuse et fine suivant la durée de la décantation et la longueur des bacs à décanter. Les résidus comprennent des feldspaths, des micas blancs (muscovites et lépidolites) en abondance; des micas colorés. Quant au kaolin tel qu'il est vendu sous le nom de *kaolin décanté*, ou d'*argile*, il contient du kaolin, du feldspath, du quartz et du mica. La teneur en kaolin vrai est de 60 à 80 p. 100 suivant les soins apportés au lavage.

La roche décomposée donne environ 20 à 22 p. 100 de son poids en *décantée;* les résidus représentent généralement plus des 4/5 du poids de la matière

brute. La présence fréquente de micas bruns cuisant en brun roux au feu de porcelaine, empêche d'utiliser ces sables résiduaires si riches en feldspath et en micas.

Parmi les gisements de cette subdivision, je citerai ceux de la Chine, de Bohême, du pays de Galles si étendus et dont les produits entrent dans la composition de tant de produits céramiques; ceux des environs d'Échassières (Allier).

La blancheur, la plasticité, la finesse, la richesse en kaolin vrai, qui pour certains produits anglais va jusqu'à 97,5 p. 100, font varier les prix dans d'énormes proportions. Les limites extrêmes de prix à la carrière, pour une matière « sèche à l'air », sont de 12 à 90 francs la tonne de mille kilos.

La plupart de ces kaolins sont moins plastiques que ceux que je vais étudier plus loin; la présence des micas qu'ils contiennent leur donne au point de vue de la porcelaine des qualités spéciales très appréciées.

b) *Gisements d'origine pegmatitique.* — Je choisis comme type le gisement de Coussac-Bonneval; les nombreux gisements de la région : Saint-Yrieix, Marcognac, Marsaguet, Fargetas, etc., présentant les mêmes caractères.

La carrière de Bois-Vicomte qui appartient à M. L. Nenert et celle voisine de M. Cubertafon, que j'ai plus spécialement étudiées, sont situées dans des micaschistes où elles forment comme des sortes d'amas plus ou moins considérables réunis entre eux par des filons. Le croquis ci-joint donne une idée, en

plan, de la disposition de ces amas et de leur irrégularité. L'orientation est presque toujours Nord 80° à 70° Ouest. La roche n'est pas décomposée régulièrement. En effet, la densité du feldspath est d'environ 2,60; celle du kaolin n'est que de 2,20; il en résulte que les roches qui se sont décomposées ont été gonflées,

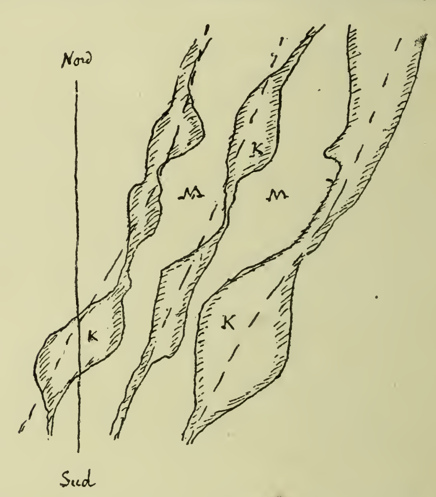


Fig. 1. — Gisement kaolinaire (Carrière de Bois-Vicomte de M. L. Nenert). [*M*, micaschistes; *K*, kaolins.

se sont disloquées; la circulation des eaux a donc été possible, provoquant des séparations d'éléments.

Il en résulte que l'on trouvera tantôt une roche très riche en kaolin, tantôt une matière très arénacée. L'irrégularité la plus grande est la règle; toutefois il faut constater la présence invariable de dépôts ocreux dans le voisinage immédiat du micaschiste; ce dépôt

est toujours stratifié avec le dépôt quartzeux plus ou moins épais et le dépôt limoneux formant la séparation du micaschiste et du gisement. Il peut aider dans ses recherches le géologue en quête d'un amas nouveau.

L'irrégularité du gisement permet de produire une grande variété de qualités industrielles différentes.

La vue d'une carrière un peu importante présente l'aspect le plus bariolé; les micaschistes bruns ou roux enclavent le découvert kaolinique blanc, rosé, jaunâtre; quelquefois des cryptogames et d'autres végétations se développent dans ce milieu riche en alcalis, donnant lieu à des colorations vertes, bleutées et violacées.

La couleur de tous ces produits est généralement blanche après passage au feu de porcelaine, sauf, pour certaines qualités jaunes, colorées par des quantités de sels de fer assez notables pour donner un ton ivoire désagréable.

La présence normale des quartz, feldspaths et micas blancs, plus ou moins gros, n'est pas nuisible pour la porcelaine; il n'en est pas de même pour des micas bruns ou noirs. Aussitôt que l'on se trouve en présence de roches contenant des micas noirs, on est obligé de les *trier*, de les *laver*, de les *décanter*, pour éliminer cet élément nuisible. Il faut donc trier le produit de l'exploitation morceau par morceau, chaque morceau dépassant rarement la grosseur du poing; il en résulte une grande variété de qualités industrielles dont voici les principales :

1° L'*argile*, ou *kaolin argileux*, matière fine, très

plastique, blanche, exempte de micas noirs, d'une teneur en kaolin vrai de 80 à 90 p. 100: elle résulte de la décomposition des pegmatites, ou dans certaines carrières, comme celle de Mme Dunoyer à Marsaguet, d'une sorte de lavage méthodique dû à la circulation descendante des eaux superficielles.

2° Les *lavages gras*, matière similaire à la précédente, mais qu'il faudra laver à cause de la présence des micas noirs.

Il est remarquable que ces matières très riches en kaolin sont presque toujours blanches, rarement d'une teinte jaune.

3° Les *caillouteuses grasses*. Cette qualité a souvent la structure d'un granite à grains moyens. La teneur en kaolin est de 35 à 50 p. 100; le résidu du lavage contient du quartz, du feldspath et des micas en grains assez gros.

4° Les *caillouteuses maigres;* dérivant d'une granulite dont elles ont conservé la structure. La teneur en kaolin vrai est de 15 à 40 p. 100; le kaolin est moins plastique que précédemment; le grain des minéraux étrangers au kaolin est assez gros.

6° Les *sablonneuses*, dues sans doute à une séparation mécanique souterraine, se rencontrent au fond des amas, plus rarement sur les côtés; elles contiennent, avec du kaolin (20 à 60 p. 100), du sable siliceux très fin; très exceptionnellement d'autres minéraux.

5° Les *lavages maigres*, formés de caillouteuses plus ou moins riches en micas noirs.

Les argiles, les caillouteuses grasses ou maigres, les

sablonneuses, sont vendues directement aux fabricants de pâtes à porcelaine.

Quant aux lavages gras ou maigres ils sont transformés en *décantées*.

La manière de former le mélange destiné à produire les décantées n'est pas indifférente. Cette décantée doit avoir une plasticité normale et une teneur en argile que j'ai trouvée généralement de 80 à 85 p. 100 d'argile kaolinique vraie. De plus la teneur en fer doit être aussi minime que possible ; il en résulte que des couches un peu ferrugineuses ne pourront passer dans le mélange qu'additionnées de matières plus pures. Un bon mélange (en éléments secs à 110° C.) de 55 kilos d'éléments gras et de 45 kilos d'éléments maigres, donnera généralement 75 kilos de décantée de bon choix. On fabrique aussi une décantée plus grossière, un peu moins plastique et notablement plus riche en fer avec des éléments non utilisables pour la décantée ordinaire ; cette matière, appelée décantée inférieure, est employée pour des pâtes très grossières, notamment pour des isolateurs d'électricité.

Les sables résiduaires sont encore inutilisés à l'heure qu'il est ; leur teneur en éléments fusibles, leur plasticité relative après broyage, les destinent pourtant à quelques emplois dans la céramique commune.

Au sortir de la carrière les kaolins argileux et lavages gras contiennent de 18 à 27 p. 100 d'eau de carrière ; les produits plus maigres de 12 à 18 p. 100 d'eau.

Cette eau de carrière est fonction de la teneur en kaolin. J'ai constaté après prélèvements soigneusement faits en diverses carrières de cette région que la teneur en eau de carrière était toujours voisine de 0^k,300 par kilo de kaolin pur.

Les matières se vendent avec leur eau de carrière. Les prix varient de 20 jusqu'à 180 francs la tonne, prise en gare la plus voisine des carrières (Saint-Yrieix ou Coussac), suivant beauté et teneur en argile.

Ces kaolins sont plus plastiques que ceux d'origine granulitique ; ils sont moins compacts, mais bien plus variables dans leur composition chimique ; les rapports entre le kaolin, le feldspath, le mica et le quartz sont très différents d'un échantillon à l'autre, ainsi que l'on pourra en juger en lisant le tableau des analyses de la page 40.

c) *Gisements stratifiés.* — Je prendrai comme type les gisements de la Dordogne (Les Eyzies, Le Bugue, etc.). Le kaolin y existe au milieu de sables micacés très fins, au-dessus d'un banc de calcaire très mouvementé.

Il forme des amas plus ou moins considérables se présentant toujours dans les carrières d'une façon bien définie ; dans le voisinage des calcaires on rencontre du kaolin opaque ou halloysite, puis une variété de kaolin translucide, gélatineux, suiffeux, enfin, des rognons de silex transparents séparés du sable micacé par des micas excessivement ferrugineux. Certains géologues attribuent l'existence de ce gisement à une origine geysérienne, basée sur la

nature du kaolin suiffeux et de la silice gélatineuse qui s'est durcie en rognons.

La situation du gisement au-dessous du plateau central, presqu'au sud de la région de Saint-Yrieix, me fait plutôt supposer qu'à l'époque post-crétacée un vaste gisement kaolinaire qui s'était formé au sud du plateau central a été lavé, entraîné par les eaux; les matériaux se sont déposés mécaniquement; d'abord les micas et les quartz, les kaolins sont venus ensuite former une couche assez importante par places.

Il semble même à l'inspection des carrières que ce phénomène s'est produit en deux fois à des intervalles dont il est impossible de déterminer l'âge exact, mais assez rapprochés.

La caractéristique absolue de ces gisements est l'absence totale de micas et de feldspaths dans les amas kaolinaires; le kaolin est associé à un silex blanc, plus ou moins fin, mais dont l'aspect cristallin indique une provenance non geysérienne.

L'époque lointaine à laquelle ce transport a dû s'effectuer a permis à la kaolinisation de se compléter d'une façon absolue. Aussi nulle trace de feldspath, ni à l'analyse, ni à l'inspection minéralogique.

Le kaolin normal des Eyzies est différent du kaolin suiffeux par ses caractères physiques et chimiques; le kaolin normal se délaie plus facilement et est plus plastique : le kaolin suiffeux est plus difficile à désagréger et a une plasticité particulière ou pour mieux dire une viscosité bizarre.

Ce kaolin qui forme des amas irréguliers est quel-

quefois facile à exploiter; souvent l'épaisseur minime et l'irrégularité des couches rendent l'extraction onéreuse.

Ce kaolin concassé en morceaux gros comme le poing est trié en plusieurs qualités; suivant la blancheur et la teneur en kaolin, le prix de la tonne varie de 25 à 50 francs, en gare voisine des carrières.

On peut rattacher à la même origine les nombreux gisements de la Nièvre et notamment ceux de Decize, de Vaux, d'Azy-le-Vif, etc.; mais là on se trouve en présence de matières bien plus sablonneuses donnant à peine 12 à 15 p. 100 de kaolin.

Étude chimique et physique du kaolin. — Le kaolin chimiquement pur, dérivant de l'albite ou de l'orthose, a pour formule : $2SiO^2, Al^2O^3, 2HO$. Ce qui correspond à :

Silice.	46,4
Alumine	39,7
Eau	13,9
	100,0

Cette formule est admise aujourd'hui par tous, quoique certains savants allemands adoptent, sans se baser sur rien de bien certain, aux points de vue minéralogique et chimique, la formule $3SiO^2, 2Al^2O^3, 4HO$, correspondant à :

Silice.	56,7
Alumine	32,3
Eau.	11,0
	100,0

Nous adopterons la première de ces formules basée

sur la décomposition des feldspaths et que de nombreuses analyses nous ont démontrée être bien voisine de la vérité.

Le kaolin chimiquement pur ne se rencontre pas dans l'industrie; les matières que j'ai énumérées plus haut contiennent toutes d'autres éléments, quartz, feldspath, micas, etc.

Une séparation absolue par lévigation est irréalisable. En choisissant des fragments d'argile kaolinique très riches en kaolin et en les soumettant plusieurs fois à des lévigations alternées à l'eau chaude et à l'eau froide, on élimine une grande partie des sables et corps étrangers, mais la densité des poudres kaolinaires en suspension dans l'eau est bien voisine de celle des poudres feldspathiques, quartzeuses ou micacées; il en est de même dans les solutions saturées d'iodure de potassium (procédé Thoulet), dont la densité est de 2,77 à la température de 11° C. : là encore une séparation absolue ne se réalise pas.

Le kaolin jouit de la propriété d'être plastique et de communiquer sa plasticité aux mélanges où on l'incorpore. Chaque sorte de kaolin, chaque veine dans un gisement a une plasticité différente qui semble en rapport avec le degré de finesse de l'argile kaolinaire. Grâce à cette plasticité, le kaolin forme une pâte avec une faible quantité d'eau; si on délaye le kaolin dans une plus grande masse de ce liquide, on obtient une barbotine plus ou moins épaisse.

Le kaolin en séchant à l'air se retraite, c'est-à-dire diminue de volume; ce retrait varie avec la nature du

kaolin et avec la teneur en eau primitive du mélange.

Le kaolin sec à 110° C. constitue une poudre généralement blanche, entièrement soluble à chaud dans l'acide sulfurique concentré qui le décompose en sulfate d'alumine et en silice gélatineuse. Cette propriété pourrait être utilisée pour le dosage exact des kaolins, si certains feldspaths, ainsi que je l'ai dit plus haut, et divers micas, sans compter la fluorine, etc., n'étaient solubles dans les mêmes conditions dans l'acide sulfurique.

Chauffé de 110° C. jusqu'à une température de 1 450° C., le kaolin subit un retrait de plus en plus grand, mais non proportionnel à l'élévation de la température; de plus, à partir de 110° C. jusque vers 1 000° C., il perd petit à petit son eau de constitution et prend la formule de $2SiO^2,Al^2O^3$ correspondant à :

Silice.	53,7
Alumine	46,3

Ce kaolin est infusible aux températures industrielles, mais les corps étrangers auxquels il est naturellement mélangé, peuvent lui donner une fusibilité proportionnée surtout à la teneur en alcalis de ces corps, feldspaths ou micas.

La plupart des kaolins perdant une quantité d'eau de 13,9 p. 100 en passant de la température de 110° C. à celle de 1 000° C., ce moyen est assez sensible pour doser à l'heure qu'il est le kaolin dans un mélange céramique dont l'origine des éléments est connue; tous les kaolins ne perdent pas de 13,9 p. 100,

comme ceux du Limousin, de l'Allier ou du pays de Galles; il y a, notamment en Allemagne (Aue, Zettlitz, etc.), des kaolins contenant en nombres ronds :

Silice.	44
Alumine	36
Alcalis.	1
Eau	19
	100

correspondant à la formule : $2SiO^2, Al^2O^3, 3HO$. Ils proviennent sans doute de la décomposition de silicates ignés correspondant au type $2SiO^2, 3RO, Al^2O^3$; roches très basiques dont la composition (en supposant $3Ro = KO + Cao + NaO$) serait de :

Silice	28
Alumine	24
Alcalis.	48
	100

Il est du reste fort remarquable de constater qu'après calcination à 110° C., ces kaolins riches en eau de constitution ont sensiblement la même composition que les kaolins dérivés des feldspaths.

En effet ces kaolins, privés de leur eau, donnent :

Silice.	55
Alumine	45

chiffres bien voisins de ceux que j'ai donnés plus haut pour le kaolin du Limousin.

A partir du rouge vif, c'est-à-dire vers 1100° C., le kaolin privé de son eau devient poreux et absorbant; cette propriété est utilisée pour faciliter l'émaillage des pièces de porcelaine.

ANALYSES DE KAOLINS PROVENANT DE GISEMENTS	GRANULITIQUES.					PEGMATITIQUES.						STRATIFIÉS.	
LOCALITÉ.	La Jonchère	Les Colettes	St Austell	Tong-Kay	Bohème	Marsaguet	Coussac (L. Nenert)	Coussac (L. Nenert)	Coussac (L. Nenert)	Marsaguet	Coussac	Eyzies	Eyzies
NOM COMMERCIAL.	Décantée.	Décantée rose R. N.	Décantée 1er choix.		Décantée	Argile ou kaolin argileux	Argile ou kaolin argileux.	Caillouteuse grasse.	Caillouteuse maigre	Sablonneuse	Décantée	Belle qualité	Qualité sableuse
Silice. . . .	51,33	49,11	48,35	50,5	47,34	46,15	48,10	66,64	50,45	70,85	49,15	50,14	58,11
Alumine et fer .	34,62	36,82	36,75	35,5	37,26	38,14	36,15	24,03	34,82	18,75	35,52	35,95	28,98
Chaux . . .	0,62	»	»	»		0,70	0,69	»	0,79	1,09	1,17		
Magnésie. .	0,08	»	»	0,8		0,09	0,06	»	0,10	0,06	0,22		
Potasse . .	0,97	0,82	0,96	1,90	1,58	0,79	1,15	0,42	2,01	2,73	1,82	0,73	1,12
Soude . . .	1,16	0,66	»	»		0,62	1,95	0,53	0,88	0,75	0,35		
Eau de constitution	11,08	12,48	13 »	11,20	13,37	13,33	11,75	8,02	10,44	4,15	11,15	12,91	11,54
Fluor . . .	0,09	0,11	»	»	»	0,31	0,11	0,27	0,33	1,17	»	»	»
Analystes. .	Auscher	Auscher	Salvétat	Ebelmen	Malagutti	Auscher	Auscher	Auscher	Auscher	Auscher	Auscher	Auscher	Auscher

Pour montrer les différences énormes que présentent au point de vue chimique les kaolins tels qu'on les rencontre dans le commerce, différences dues surtout aux corps sableux, micacés et feldspathiques, j'indique dans le tableau ci-contre des analyses totales de kaolins sans chercher pour le moment à grouper les éléments suivant leur provenance minéralogique.

DES MATIÈRES SILICEUSES

On fait entrer dans la composition des porcelaines diverses matières siliceuses. Tout d'abord je rappellerai que les pegmatites, les granulites et les kaolins caillouteux contenant minéralogiquement de la silice à l'état de quartz, en introduisent naturellement dans les pâtes. On emploie aussi comme élément siliceux le sable de Decize, sable kaolinaire d'origine sédimentaire contenant du quartz à l'état de grès siliceux; ce sable se rencontre mélangé à des micas, des feldspaths plus ou moins décomposés, enfin à du kaolin (15 à 20 p. 100). La fusibilité de ce sable dépend naturellement de sa composition.

En dehors de produits complexes de ce genre, on se sert de quartzites que l'on rencontre abondamment dans presque tous les étages géologiques. Pour rendre le broyage de cette matière plus facile, on l'*étonne* en la soumettant à une température d'environ 1000° dans un four primitif; une fois ce degré de température atteint, le quartz est précipité dans l'eau; il se désagrège de la sorte bien facilement ; il

est toujours utile de tenir compte de l'eau que peut contenir un quartz et qu'il perd entre 110° C. et 1 000° C.; cette teneur variable peut influer sur la quantité à additionner aux diverses pâtes.

On peut considérer que les quartzites de la Haute-Vienne, de la Dordogne, de l'Allier, des Pyrénées, etc., sont composées de silice chimiquement pure additionnée seulement d'eau et d'un peu de peroxyde de fer qui se trouvent dans les fractures de la roche. Aussi choisit-on de préférence les carrières donnant une roche blanche peu fracturée.

On utilise également les sables gréseux de Fontainebleau, d'Aumont, etc., dont le grain est régulier. Ces sables sont rendus presque chimiquement purs par un lavage sommaire à l'eau, qui entraîne les particules limoneuses qu'ils peuvent contenir.

L'industrie de la porcelaine, comme celle de la faïence fine, emploient la silice sous une autre forme. Les rognons de silice noire ou galets, provenant de l'action de la mer sur les falaises (cayeux) sont récoltés, puis calcinés et pulvérisés.

Il est à noter que les quartzites, les sables gréseux et la silice pulvérisée des galets noirs, qui chimiquement ont la même composition, ne donnent pas les mêmes propriétés aux pâtes, aux couvertes et aux émaux. Leur structure, pour le même degré de broyage, est différente et l'influence sur la fusibilité est considérable. La substitution d'une nature de silice à une autre en quantité égale, ne saurait se faire sans inconvénients.

Le prix de ces matières est fort peu élevé et dépend de la finesse. La limite inférieure est de 5 à 7 francs par tonne de quartzite en carrière; la limite supérieure est de 100 à 120 francs la tonne, pour des silices impalpables. Pour les pâtes comme pour les couvertes, le degré de finesse des matières siliceuses joue un grand rôle tant au point de vue de la fusibilité que de la facilité de séchage.

CRAIE ET MATIÈRES CALCAIRES

On ajoute également à quelques pâtes et émaux du carbonate ou du sulfate de chaux destiné à augmenter leur fusibilité ; on se sert soit de marbre blanc commun, soit de craie, soit enfin de blancs de Meudon ou de Bougival. Toutes ces matières sont des carbonates de chaux presque chimiquement purs. Le marbre impalpable convient mieux pour les couvertes, la craie pour les pâtes.

Dans certains cas, on incorpore du gypse ou du plâtre qui ne sont autres que des sulfates de chaux purs.

MICAS

Ainsi que je l'ai dit plus haut, la plupart des feldspaths, pegmatites, granulites du commerce, ainsi que les sables kaolinaires contiennent des micas. Le premier, Ebelmen signalait la présence des micas dans les produits kaolinaires rapportés de Chine par le P. Ly et qu'il a longuement étudiés. Après la mort

d'Ebelmen enlevé prématurément à la science, l'étude minéralogique des roches kaolinaires était délaissée.

En attribuant au kaolin la formule $2SiO^2, Al^2O^3, 2HO$, aux feldspaths la formule $6SiO^2, Ko, Al^2O^3$ ou $6SiO^2, NaO, Al^2O^3$, les résultats des analyses totales centésimales des roches feldspathiques ou kaoliniques étaient transformés, au laboratoire de Sèvres comme en Allemagne, en kaolin, quartz et feldspath. On tenait compte de l'alumine kaolinaire soluble dans l'acide sulfurique concentré pour calculer la teneur en kaolin, l'alumine insoluble se mettant au compte du feldspath. Partant de ce principe, avec des analyses de porcelaine chinoise fort exactement faites, on a cherché à reconstituer cette porcelaine avec les matériaux de notre pays.

On a eu grand'peine à y arriver à cause de cette manière d'interpréter les résultats d'analyse.

Depuis, on a constaté la solubilité d'une partie des pegmatites chinoises dans l'acide sulfurique concentré, et l'on signalait la présence dans cette pegmatite de la *muscovite*[1], ou mica blanc, dont la formule est :

$$6\,SiO^2,\ 3\,Al^2O^3,\ KO,\ 2HO$$

Il en résulte qu'aujourd'hui, les éléments solubles dans l'acide sulfurique concentré sont le kaolin et la muscovite, la teneur en potasse du produit dissous permettant de calculer le mica; les alcalis du produit insoluble servant à calculer le feldspath.

1. *Comptes rendus Ac. des sciences*, 9 janvier 1890.

On connaît un grand nombre de familles de micas; les *muscovites*, micas potassiques, et les *lépidolithes*, micas riches en fluor, sont les deux plus répandues.

J'ai pu constater dans les gisements de l'Allier et de la Creuse qu'il y existait une très grande variété de micas blancs ou colorés, dont peu ont été décrits, mais qui ont des compositions centésimales très différentes. J'insiste surtout sur ce fait que les micas connus sous le nom de *lépidolithes*, caractérisés par leur richesse en fluor, sont abondants dans tous les gisements exploités en France et que j'attribue la teneur en fluor des roches kaoliniques (voir tableau de la page 40) à la présence de ce corps. J'ai récolté à Coussac (carrières de M. L. Nenert) comme aux Colettes (carrière du Puy de Juliat) des micas blancs, tantôt solubles, tantôt insolubles dans l'acide sulfurique concentré; leur aspect est très voisin, mais les clivages donnent des caractères différents; il en est de même pour des micas colorés.

La *muscovite*, d'après une analyse donnée par M. Tschermak, a la composition suivante :

Silice	45,37
Alumine.	37,50
Potasse	11,32
Eau.	5,73

Ces chiffres se rapportent à une espèce minéralogique bien définie et ne sauraient être attribués à *tous* les micas des gisements français qui comportent indiscutablement de la muscovite et des lépidolithes.

Quoi qu'il en soit, malgré le soin apporté pour éliminer les micas et surtout les micas ferrugineux des kaolins industriels, cet élément intervient, involontairement jusqu'à présent, dans la plupart des pâtes à porcelaine, leur communiquant des qualités spéciales de résistance en cru, et de facilité, de régularité de dessiccation.

Le seul gisement micacé utilisable dans la fabrication des porcelaines et grès, que je connaisse jusqu'à présent est celui du Rossignol près La Montagne (Loire-Inférieure). A la limite des terrains pliocènes et des alluvions quaternaires, non loin de micaschistes et de schistes micacés très anciens, on rencontre sur une bande d'une certaine étendue, dans la région pliocène, des argiles blanches qui semblent résulter de la décomposition des schistes micacés injectés de roches feldspathiques de la région voisine, et qui ont été sans doute transportées par un lavage mécanique à l'endroit où on les rencontre actuellement. L'épaisseur du gisement est considérable, de 12 à 15 mètres. La matière argileuse blanche, d'une plasticité différente de celle des kaolins étudiés jusqu'à présent, mais due sans doute à la finesse du mica blanc, ne montre que peu d'éléments minéralogiques. Le kaolin, le mica blanc, le quartz dominent, le feldspath est moins abondant; quelquefois, dans le voisinage des alluvions quaternaires, la masse est imprégnée de peroxyde de fer. En supposant que les éléments minéralogiques aient les compositions décrites plus haut pour le kaolin, l'orthose et la muscovite, j'ai constaté dans une

dizaine d'échantillons que j'ai analysés à mon laboratoire les compositions extrêmes suivantes :

ARGILES MICACÉES DU ROSSIGNOL

Kaolin	32,1	33,2
Quartz. . . . . , . .	27,2	31,7
Mica (muscovite).	36,5	30,0
Feldspath (orthose). . . .	4,2	5,1
	100,0	100,0

Ces argiles micacées cuisent en blanc légèrement ivoiré au feu oxydant; en blanc verdâtre au feu réducteur. Comme certains kaolins chinois, elles exigent de très grands volumes d'eau pour leur lavage; elles se déposent très lentement. L'aspect de l'eau dans laquelle on a mis en suspension un peu de ce kaolin est très caractéristique; on y voit miroiter une foule de paillettes argentées. Ce phénomène se produit également avec les kaolins de la Chine.

CHAPITRE II

EXPLOITATION DES ROCHES UTILISÉES EN CÉRAMIQUE

Je n'ai presque rien à dire sur l'exploitation des granites plus ou moins décomposés (Montebras) ; des pegmatites (Saint-Yrieix) ; des quartzites et marbres. L'extraction se fait par les procédés habituels variant avec la dureté de la roche et la nature du sol. Le peu d'importance des déchets donne à ces travaux une grande facilité d'installation.

Il n'en est pas de même des kaolins qui se rencontrent dans des régions profondément troublées ; leur plasticité et leurs teneur en eau rendent l'exploitation difficultueuse.

Pour les *kaolins d'origine granulitique*, il s'agit non seulement de suivre le filon ou la veine par un travail méthodique, mais encore de délayer la matière brute qui contient de 15 à 25 p. 100 de produits utilisables

et 85 à 75 p. 100 de résidus encombrants, dans le minimum d'eau; d'éloigner ces résidus de façon que leurs amas ne soient pas disposés sur le passage de la veine suivie ou d'une autre voisine; enfin de faire circuler la bouillie kaolinaire qui contient de 3 à 10 p. 100 de kaolin, dans une série de bacs à chicanes où, cheminant lentement, elle abandonne une grande partie des micas, des feldspaths et des sables entraînés dans le lavage. A la sortie de ces bacs, l'argile décantée se dépose dans de grandes cuves, où elle se décante lentement; on enlève l'eau surnageante qui sert à de nouveaux lavages; et la matière argileuse récoltée, titrant de 20 à 25 p. 100 de kaolin, est mise à ressuyer dans des bacs garnis de sables kaolinaires damés et tassés. Lorsqu'elle arrive à titrer 35 à 45 p. 100 et qu'elle est assez solide pour être cueillie à la pelle, elle est mise à sécher soit à l'air, sur des claies en bois, soit sur des séchoirs à dallages céramiques construits de façon à donner une température maxima de 80° C. sur les dalles. Le kaolin une fois sec est ensaché ou expédié en vrac.

Ce procédé est employé en Angleterre, aux Colettes, à la Jonchère, etc.; suivant la disposition du terrain, la richesse du sol en sources aquifères, l'exploitation varie un peu.

Tantôt la roche exploitée est triée sur place, jetée au fond de la carrière et soumise à l'action de l'eau dans le fond même de la carrière qui atteint jusqu'à 40 mètres de profondeur; les eaux sont alors élevées par des pompes afin d'être soumises aux opéra-

tions de dépôt (les Colettes, pays de Galles). D'autres fois, la roche exploitée, triée, est amenée sous un puissant jet d'eau qui désagrège le granite décomposé, et les eaux surnageantes sont utilisées pour une carrière inférieure (La Jonchère). La plupart de ces exploitations exigent des capitaux considérables à cause de l'importance du matériel nécessaire et de la surface énorme exigée pour toutes ces manipulations.

D'autres qualités de kaolins décantés que je n'ai pas étudiées plus haut se rencontrent dans le commerce ; ce sont celles qui sont utilisées pour la charge des pâtes à papier, pour la fabrication des outremer, etc., etc.

Les *kaolins d'origine pegmatitique* sont plus faciles à exploiter. Les carrières de la région de Saint-Yrieix présentent toutes, à peu de choses près, le même mode de travail. L'ouvrier détache du front de la carrière exploitée en gradins droits, avec des outils en bois et en fer, des morceaux de kaolin pesant environ 30 ou 40 kilos; lorsqu'il a ainsi déblayé un ou deux mètres cubes, il se sert d'une sorte de couperet pour diviser ces mottes plus ou moins grosses, pour enlever les impuretés superficielles consistant surtout en éléments notoirement ferrugineux. Des enfants, des femmes viennent ramasser ces morceaux gros comme le poing, en remplissent des paniers en osier dits *cazettes* qu'ils mettent sur leur tête pour les porter hors la carrière dans de petits bâtiments où cet épluchage se continue, effectué par d'autres ou-

vrières qui subdivisent le kaolin suivant les espèces que j'ai énumérées plus haut (voir page 31).

Les *kaolins d'origine stratifiée* s'exploitent à peu près comme les précédents : le triage se fait également mi-partie à la carrière, mi-partie au dépôt.

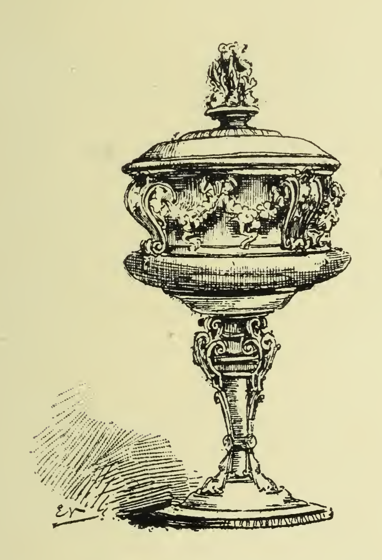


Fig. 2. — Porcelaine de Sèvres (1884).

CHAPITRE III

DES DIVERSES SORTES DE PATES A PORCELAINE DURE

Une pâte à porcelaine dure doit présenter non seulement une composition chimique en rapport avec la température du four qui la cuira, et s'accordant avec l'émail qui doit la couvrir, mais doit encore jouir d'une série de propriétés physiques dont l'importance est considérable.

Ainsi une plasticité trop forte donne lieu à des fentes en cru, en dégourdi, à des difficultés de moulage; une plasticité trop faible rend le travail du porcelainier difficile; les argiles subissant un retrait variable, il y a lieu de donner à la pâte un retrait normal; un retrait trop grand conduit à des déformations, un retrait trop faible imprime souvent aux pièces un aspect rigide et peu artistique.

Il est donc nécessaire de combiner les propriétés chimiques et les propriétés physiques du mélange, de manière à arriver à produire une porcelaine facile à

travailler, à émailler et à cuire, susceptible de décors variés et d'un aspect précieux et noble.

Les Chinois semblent avoir connu de tous temps la porcelaine. Leurs produits arrivés en Europe dès le XIe siècle ont excité l'enthousiasme général. Grâce aux récits du P. d'Entrecolles[1] (1712-22), du P. Ly[2] (1844), de M. Scherzer (1886), par les travaux d'Ebelmen et de Salvétat[3], on a fini par connaître un peu leur manière de procéder et on a pu tenter de les imiter sinon de les égaler.

Les potiers des XVIIe et XVIIIe siècles ont cherché à reconstituer la porcelaine de Chine en employant comme pâte une sorte de verre opaque, et comme émail le cristal plombeux; ils ont ainsi doté notre pays de la porcelaine tendre artificielle qui sort du cadre de cet ouvrage. La découverte (due au hasard) du kaolin en Saxe et en France, a permis l'établissement de l'industrie porcelainière. L'historique du développement successif de la porcelaine a été trop souvent détaillé[4], pour que j'insiste longtemps à cet égard.

1. D'ENTRECOLLES (Père), *Lettres sur la fabrication de la porcelaine en Chine*. Toulouse, 1810-11.

2. LY (Père Joseph), *Instruction sur la manière de faire la porcelaine de Chine*. Manuscrit in-4°. Bibliothèque de Sèvres.

3. EBELMEN et SALVÉTAT, *Sur la composition des matières employées à la porcelaine de Chine*. Paris, Bachelier, 1852, in-8.

4. BRONGNIART, *Traité des arts céramiques*. Paris, Béchet, 1844, 2 vol. in-8.

Lire aussi : JACQUEMART et LE BLANC, *Histoire artistique, industrielle et commerciale de la porcelaine*. Paris, Techener, 1872 grand in-4. — JACQUEMART, *Histoire de la céramique*. Paris,

Je pense que les procédés de classification géographique, étant donné le nombre considérable de fabrications différentes, doivent être abandonnés pour être remplacés par une classification plus scientifique.

J'ai donc divisé les pâtes dures en deux grandes familles : 1° celles qui cuisent à la température de 1 350° et au-dessus; 2° celles qui cuisent à une température inférieure à 1 350°.

Je donnerai pour plus de clarté le nom de *porcelaines dures* aux premières, de *porcelaines orientales* aux secondes.

Les températures des fours peuvent aujourd'hui s'apprécier d'une façon assez précise au moyen de *montres fusibles*, que je décrirai en causant de la cuisson; la constatation que j'ai faite du point de cuisson de la plupart de ces porcelaines me permet d'adopter ce mode rationnel de division.

Toutefois, avant d'entrer dans le détail de la composition des pâtes et des couvertes, il est utile de décrire les procédés d'analyse chimique qui sont les mêmes pour les pâtes et couvertes complexes que pour les kaolins, feldspaths et autres roches qui les composent.

Hachette, 1873, in-8. — Garnier, *Histoire de la céramique*. Mame, Tours, 1881, in-8.

CHAPITRE IV

ANALYSE DES MATIÈRES CÉRAMIQUES

Les matières à analyser quelles qu'elles soient, pâtes, couvertes, kaolins, feldspaths, doivent être soumises aux mêmes opérations, qui sont longues et minutieuses, mais qui donnent au fabricant des renseignements précieux s'il veut obtenir une pâte toujours de même composition, et par suite de même fusibilité, capable de recevoir les même émaux et de supporter le feu du four à porcelaine.

L'analyse doit être faite de façon à isoler non seulement chacun des éléments chimiques, mais à tâcher de permettre ensuite le groupement minéralogique. Tout d'abord la matière broyée, impalpable, est séchée plusieurs heures à 110° C. afin que l'eau de carrière ou hygrométrique ne vienne pas troubler les résultats ultérieurs. On note quelquefois cette teneur. Puis on prélève un poids déterminé de la matière sèche et on la porte au rouge vers 1 000° C.; la perte subie après calcination indique la perte en eau de constitution, en

acide carbonique, en matières organiques. La présence de l'acide carbonique se décèle facilement par l'action des acides étendus sur un poids déterminé de matière diluée dans l'eau. Son dosage est facile et se fait par les procédés classiques.

Ceci fait, la matière broyée est soumise à trois traitements énergiques dont je n'indique pas tous les détails, mais qui sont indispensables pour chercher à connaître, dans la limite du possible, la part d'éléments chimiques attribuable à chaque élément minéralogique.

1° L'attaque à l'acide sulfurique concentré, lorsqu'elle est prolongée pendant un temps assez long, en renouvelant plusieurs fois l'acide sulfurique au fur et à mesure de son évaporation, dissout plus ou moins complètement certains éléments minéralogiques; on décompose ainsi divers silicates alumineux en les transformant en sulfate d'alumine, en silice gélatineuse, en silicates alcalins, tous solubles. Il reste un résidu insoluble qui comprend le quartz libre et les divers silicates alumineux non décomposés. On sépare ces deux groupes par filtration; on dose dans le liquide soluble, la silice, l'alumine, les alcalis. Quant à la partie insoluble, elle pourra être attaquée par l'acide fluorhydrique, ce qui permettra également la transformation de cette partie en éléments chimiques: silice, alumine, alcalis.

2° L'attaque à l'acide fluorhydrique, qui se fera surtout dans le cas de poteries cuites à analyser, permettra une séparation totale des éléments, précieuse

par la faculté de doser les alcalis sans addition d'autres éléments alcalins.

3° L'attaque au carbonate de soude, au creuset de platine, donnera une désagrégation complète et permettra la séparation absolue de la silice et de l'alumine.

Aucun de ces procédés ne permet le dosage exact du fluor, il faut alors recourir à celui de M. A. Carnot, décrit en 1892 dans les *Annales des Mines*. Il ne donne une exactitude absolue que pour les roches attaquables par l'acide sulfurique concentré.

Pour les analyses des matières cuites, porcelaines ou couvertes, on n'emploiera que les deux derniers procédés, c'est-à-dire les attaques par l'acide fluorhydrique et le carbonate de soude.

Les résultats obtenus doivent être groupés dans un tableau indiquant les éléments dissous ou non par l'acide sulfurique. Je prendrai pour exemple une pâte à porcelaine de Limoges; la première colonne indique les résultats de l'analyse totale obtenus par les attaques au carbonate de soude et à l'acide fluorhydrique. La seconde colonne indique les résultats d'analyse des éléments dissous par l'acide sulfurique concentré. La troisième donne la différence des deux premières.

Analyse d'une pâte à porcelaine de Limoges.

	ANALYSE TOTALE.	ÉLÉMENTS solubles dans $HOSO^3$	ÉLÉMENTS insolubles dans $HOSO^3$ (par différence)
Silice	64,33	21,16	42,14
Alumine et fer	22,73	19,73	4,06
Chaux	1,50	1,30	0,35
Magnésie	0,06	»	»
Soude	1,38	0,40	0,95
Potasse	2,85	0,70	2,11
Perte au rouge	7,10	7,10	»
TOTAL	100,18	50,39	49,61

La discussion de ces résultats prête, comme je l'ai dit, à de nombreuses controverses. Tout d'abord, quels sont les éléments minéralogiques contenus dans les kaolins et feldspaths industriels qui sont dissous dans le traitement par l'acide sulfurique concentré? Jusqu'en 1889, on considérait que l'acide sulfurique dissolvait le kaolin (silicate d'alumine hydraté) seulement. Il en résultait que, sans tenir compte des alcalis de la partie soluble, on jugeait que toute l'alumine dissoute (19,73 dans le cas présent) était de l'alumine kaolinique. Au contraire, dans la partie insoluble, l'alumine (4,06) était attribuée aux feldspaths potassiques ou sodiques.

On calculait donc facilement (en supposant les formules que j'ai données plus haut pour le kaolin et le feldspath) la composition minéralogique de la pâte qui dans le cas qui nous occupe était de :

Kaolin	50,39
Feldspath	21,72
Quartz	27,89

Depuis 1890, on sait que dans les éléments solubles, toute la partie potassique ainsi qu'une partie de l'alumine peut être attribuée à la muscovite, $6SiO^2$, $3AlO^3$, Ko, 2HO.

Et le calcul donne alors en éléments minéralogiques :

Kaolin	41,99
Mica	8,44
Feldspath	21,72
Quartz	27,89

Quelle que soit la manière de calculer, on ne tient pas compte de la soude, de la magnésie et de la chaux, rencontrées dans la partie soluble et qui peuvent provenir d'autres éléments minéralogiques.

De fait, le kaolin pur et la muscovite ne sont pas seuls solubles dans l'acide sulfurique concentré.

Parmi les éléments minéralogiques que nous avons étudiés, d'autres sont solubles dans l'acide sulfurique, aussi il faudrait, pour déterminer l'analyse minéralogique *vraie* d'un kaolin et *a fortiori* d'une pâte à porcelaine crue, où peuvent se trouver plusieurs sortes de kaolin d'origine différente, déterminer d'abord les propriétés chimiques des nombreux corps qui existent dans les gisements kaolinaires ; on se rendrait compte facilement des grandes variations de composition centésimale d'un feldspath ou d'un mica d'une carrière à une autre. Il ne faut donc compter sur une formule minéralogique que lorsque l'étude

détaillée des roches multiples de chaque gisement a été faite avec soin.

Je n'indiquerai donc pour les pâtes que la teneur chimique, laissant à chacun le soin de calculer la teneur minéralogique, d'autant plus qu'un grand nombre de ces analyses, faites avec des fragments cuits, ne sauraient indiquer les éléments solubles dans l'acide sulfurique concentré.

CHAPITRE V

PORCELAINES DURES

HISTOIRE, DIVISION, COMPOSITION

Les porcelaines dures fabriquées d'abord en Saxe après la découverte fortuite du kaolin d'Aue par Boëtger, et dont les procédés sont restés assez longtemps secrets, n'ont été connues qu'un certain nombre d'années après en France.

Sèvres fabriquait une pâte tendre artificielle, matière admirable au point de vue décoratif, mais qui présentait de graves défauts au point de vue des usages quotidiens et des emplois industriels. Les fondateurs de Sèvres n'ignoraient pas comment la porcelaine de Chine se fabriquait. Les relations des missionnaires de Chine avaient appris que cette matière était formée d'une argile blanche très plastique.

Cette argile formait le corps de la pâte, son mélange presque toujours naturel avec une matière fusible, le feldspath, donnait la transparence. La couverte n'était

autre que cette roche feldspathique appelée *petunzé* par les Chinois.

Boëtger, alchimiste, cherchant pour le compte de l'Électeur de Saxe le problème de la transmutation des métaux, se servit pour ses creusets de terre blanche ou de kaolin d'Aue. A un feu très fort, cette matière conservait sa forme tout en restant blanche et légèrement translucide ; grâce à ces recherches d'alchimie, le hasard fit découvrir la porcelaine en Saxe.

L'Électeur, charmé du résultat, entoura la fabrication naissante du plus grand secret, et au bout de quelques années (1715), la porcelaine de Saxe était réputée de par toute l'Europe comme étant autant et plus belle que celle des Indes.

Vers la même époque, un potier originaire de Hollande, nommé Hannong, vint s'installer à Strasbourg. Il y fabriqua d'abord des poêles en faïence et peut-être aussi des pipes en terre. Perfectionnant tous les jours son industrie, Hannong fit avec son associé, Wackenfeld, en 1721, les premiers essais de porcelaine dure ; quelques pièces existent, marquées du sigle CH, que les faïences de ce potier portaient toujours. La fabrication n'aboutit pas, faute de kaolin ; celui qui avait servi venait soit de Saxe, soit de Westphalie. Le fils de Hannong, Paul-Antoine, plus heureux que son père, reprit les essais et arriva vers 1750 à produire couramment de la porcelaine dure avec des kaolins trouvés dans les Vosges.

Sachant combien on faisait d'efforts à Sèvres pour arriver à connaître le secret de cette fabrication,

l'enfant de Strasbourg, qui le premier avait trouvé en France la porcelaine dure, non pas par hasard comme en Saxe, mais à la suite de longues études et de tâtonnements minutieux, entra en relations avec M. Bertin,



Fig. 3. — Porcelaine dure de Hannong (vers 1753).

ministre du roi, ainsi qu'avec Boileau, directeur de la manufacture de Sèvres en 1753.

Il fit voir ses échantillons et donna des renseignements qui inspirèrent la confiance, mais il demanda en échange de son secret la somme de 100 000 livres

comptant et de 12 000 livres de rente viagère; le prix fut trouvé exorbitant, car on savait que les matériaux venaient de fort loin, du Palatinat presque certainement (quoique Brongniart ait dit dans son *Traité des Arts céramiques* que le kaolin venait de Passau).

En 1754 un arrêt du roi défendit au sieur Hannong de faire de la porcelaine en France; cet arrêt, basé probablement sur le tort commercial que le bon marché des produits d'Hannong causait à Sèvres, eut pour effet de chasser cette industrie de France. Hannong s'établit à Frankenthal où l'Électeur palatin, Charles Théodore, son protecteur et son associé, fit fabriquer des produits qui rivalisaient de grâce et de beauté avec ceux de Saxe. Hannong mourut en 1755 laissant deux fils; l'aîné possesseur de Frankenthal, fut encore, dans les pourparlers avec Sèvres, plus exigeant que son père; le cadet, plus jeune et plus facile, renoua avec M. Bertin les relations commencées par son frère.

Il s'agissait, comme le montre la correspondance de MM. Bertin et Boileau, de faire le nécessaire pour soustraire la France à l'importation d'un objet de luxe venant de l'étranger et dont le montant se chiffrait par une somme considérable. Après un voyage de Boileau à Strasbourg et à Frankenthal, un traité fut établi en 1761. Mais le manque de matières premières empêcha la conclusion du marché. On liquida toutes ses créances à Hannong moyennant 4 000 livres payées comptant et 1 200 livres de pension.

En 1765 Guettard lut à l'Académie des sciences un

mémoire dans lequel il racontait que le kaolin, ainsi que le petunzé, venait d'être découvert par lui aux environs d'Alençon. Ce mémoire signalait non seulement les conditions du gîte kaolinifère, mais encore les résultats d'essais obtenus au laboratoire de Bagnolet, chez le duc d'Orléans.

Quelques mois après (1766), le comte de Lauraguais vint combattre fort grossièrement, d'une manière qu'on ne devait pas attendre de la politesse d'un homme de ce rang, la réalité des résultats de Guettard; il n'en reste pas moins ce fait que Guettard a su reconnaître le premier, et cela d'une façon presque scientifique (la géologie était peu connue à cette époque), un gisement français de kaolin et qu'il arriva à convertir cette terre en porcelaine dure.

Néanmoins les qualités de cette porcelaine n'étaient pas bien remarquables; le ton était bis; la couverte jaunâtre et les appareils de cuisson encore peu étudiés et mal appropriés, avaient donné de nombreux déchets.

La matière d'Alençon fut essayée à Sèvres par Millot, chef de fabrication de la manufacture à cette époque. Le chimiste de la manufacture Macquer se livrait de son côté à des essais avec les mêmes matières, comparativement avec celles que la bienveillance d'un prince saxon avait mises entre ses mains. Les essais étaient peu satisfaisants, et l'on était convaincu, comme le montrent les écrits qu'ont laissés ces savants, que si le procédé et la nature de la matière étaient bien connus, la matière, elle, était sale et trop souillée par des matières ferrugineuses pour permettre d'imiter

avec succès la porcelaine de Saxe ou celle de l'Extrême Orient. Macquer et Millot avaient donc réussi à faire de la porcelaine dure tant avec le kaolin saxon qu'avec le kaolin d'Alençon; cherchant le véritable kaolin « donnant une pâte blanche analogue à celle du vieux japon », ils essayèrent les terres de Bourgogne, de Champagne, etc., sans obtenir de résultats satisfaisants.

Mgr l'archevêque de Bordeaux étant venu vers la fin de 1765 voir la manufacture de Sèvres, après qu'il eut vu les travaux et le magasin, le directeur, M. Boileau, lui montra au laboratoire les essais faits par Macquer et les résultats obtenus avec le kaolin de Saxe : à la demande de ces messieurs, l'archevêque voulut bien se charger d'un morceau de cette terre pour voir si on n'en trouverait pas d'analogue dans les environs de Bordeaux; l'archevêque de Bordeaux montra cette terre à un apothicaire du nom de Villaris, qui avait beaucoup voyagé. Ce dernier se mit en route peu de temps après, traversa les Cévennes sans rien trouver et, découragé, envoya un morceau de ce kaolin à un de ses amis, Darnet, de Saint-Yrieix, avec lequel il avait fait plusieurs campagnes en Allemagne.

L'étonnement de celui-ci fut grand, car sa femme se servait pour laver son linge d'une sorte de terre blanche qui affleurait à Saint-Yrieix et cette terre était de tous points analogue à l'échantillon envoyé. Darnet envoya environ trois livres de cette terre à Villaris, qui la fit parvenir au directeur de la manufacture du roi.

Les essais furent faits rapidement et l'on peut voir dans la vitrine des essais du musée céramique de Sèvres un petit Bacchus en porcelaine dure blanche, émaillée, qui est à proprement parler la première pièce de porcelaine dure faite à la manufacture. Mais il s'agissait de savoir où était le gisement et Villaris restait muet, décidé à ne livrer son secret que contre une forte somme.

Un matin, Millot dit à son directeur Boileau : « Vous serez bien étonné un de ces matins en ne me trouvant plus ici.

— Pourquoi ? demanda Boileau.

— Puisqu'on ne peut avoir de cette terre, je pars pour la trouver. »

Boileau en parla au ministre Bertin, et Macquer et Millot furent chargés d'aller retrouver ce fameux gisement aux environs de Bordeaux.

Le personnel scientifiqne de la manufacture en possession du kaolin de Saint-Yrieix, les essais allèrent vite, si bien qu'à la Noël de 1769, Macquer et Monsigny (le successeur de Millot) se rendirent au château de Versailles, où ils exposèrent les premières porcelaines dures de Sèvres. Le récit de Macquer relatif à son voyage a été conservé et je ne saurais mieux faire que d'en donner quelques extraits :

En arrivant à Bordeaux nous sommes allés saluer M. l'Archevêque qui nous a reçus avec beaucoup de plaisir ; le lendemain le Sieur Vilaris nous est venu trouver à notre auberge, mais il n'a pas voulu nous dire où était cette terre, en disant que le Ministre ne le récompenserait pas

de ses peines; il a donc fallu écrire à M. de Bertin; nous avons été neuf jours sans avoir de réponse, la lettre arrivée nous a défendu de ne plus parler au Sieur et chercher dans les environs de Bordeaux et même d'aller jusqu'à Bayonne; nous y sommes restés huit jours et deux jours à Biaris sans trouver personne pour nous indiquer de pareille terre à nos échantillons; de Bayonne nous sommes revenus à Daxe où nous avons resté 27 jours, nous avons fait plusieurs sorties dans ces environs du côté de Poullion, nous avons trouvé une espèce de blanc qui ressemblait à de la craie, et très réfractaire, j'en ai apporté plusieurs livres à Daxe, je l'ai bien décomposée par les lavages, après j'en ai fait plusieurs petites plaques avec addition, que j'ai été cuire à la forge d'un serrurier nommé Sainte-Marie; ces premières plaquettes ont été un peu enfumées, à cause des creusets qui étaient de mauvaise qualité; nous avons été chez M. Bordat, président de cette ville, pour lui demander, comme naturaliste, s'il ne connaîtrait pas des terres à creuset qui résistent au plus grand feu; n'en ayant point trouvé dans son cabinet d'histoire naturelle, je me suis servi de la terre ou blanc que j'avais trouvée près de Poullion pour faire des creusets, le lendemain je me suis promené presque toute la journée sans apercevoir aucune bonne terre. J'ai seulement trouvé une pierre à plâtre que j'ai apportée à notre auberge, je l'ai cassée par morceaux, je l'ai mise ensuite dans l'âtre du feu avec des charbons allumés dessus pendant une demi-heure, après je l'ai bien pilée et passée au tamis, ce qui m'a fait un très bon plâtre, j'ai moulé la moitié d'un œuf qui m'a fait un petit moule qui m'a servy pour tous mes essais.

J'ai fait quelques petits godets et quelques petites plaques que j'ai été cuire chez notre serrurier, et qui m'ont beaucoup mieux réussi que la première fois; toutes nos petites épreuves faites, nous sommes party pour Bordeaux avec une quarantaine de livres de terre toute décomposée ainsi que tous nos petits essais de porcelaine faits à Daxe.

M. l'Archevêque, les ayant vus et bien examinés, a renvoyé chercher le Sieur Vilaris; celui-ci s'est trouvé bien sot de voir, après son refus, que nous avions trouvé le kaolin comme lui; le lendemain matin le Sieur Vilaris nous est venu trouver, mais il n'était pas si fier que lorsque nous sommes arrivés à Bordeaux; il nous a offert tous ses services et même qu'il allait nous conduire sur le lieu où était le kaolin en disant que le Ministre lui donnerait ce qu'il voudrait pour ses peines. Le jour pris, il a été nous attendre à Tiriée en Périgord.

Le lendemain nous avons party pour rejoindre Vilaris à Tiriée et de là à Saint-Yriée, nous étions logés dans le fauxbourg Noillier chez M. Dubourg, aubergiste et arpenteur. Vilaris avait choisy la maison la plus écartée de M. Darnet, chirurgien-major de cette ville, pour ne point être vu de lui malgré qu'ils étaient amis et que c'était lu qui lui avait envoyé le premier échantillon de kaolin à Bordeaux.

C'était bien notre plus court de traverser la ville, mais comme il fallait passer devant la porte du sieur Darnet, Vilaris nous a fait traverser tous les jardins hors de Saint-Yriée pour aller rejoindre le kaolin qui était vis-à-vis le cimetière de la paroisse fauxbourg Noillier dans un petit chemin qui était si profond qu'à peine pouvait-on nous voir.

Comme nous étions à fouiller, il a passé deux hommes qui nous ont aperçus, et qui ont couru bien vite en faire le rapport à Mme du Montait, propriétaire dudit terrein, elle a envoyé à l'instant son fils nous demander par quel ordre nous prenions sa terre en nous disant que si nous ne cessions pas, il allait faire sonner le tocsin pour faire amasser le monde pour nous faire finir, nous avons quitté dans l'instant et M. Macquer a été chez le maire de ville lui communiquer les ordres que nous avions du Ministre pour la recherche des terres propres à la manufacture des Porcelaines du Roy.

Nous en avons tiré un tonneau d'environ 400 livres et

tout ce qu'il y avait de plus blanc, nous l'avons fait passer à la Douane de Limoges pour être transporté à Sèves.

Singulière réflexion de M. Macquer sur notre route de Saint-Yriée à Limoges en disant : « Demarais est de l'Académie et est naturaliste, il a marché tous les jours sur le kaolin et il ne le connaît pas.

Il nous a été dit aussi par un ancien de Saint-Yriée, qu'on en avait tiré il y avait plus de 30 ans pour transporter à Limoges chez un fayencier pour en faire des assiettes et qu'il n'avait pas réussi à cause qu'elle ne pouvait pas supporter le blanc de fayence.

Une fois la porcelaine dure trouvée à Sèvres, ses procédés de fabrication industriels se répandirent en France, et quelques années après dix-huit fabriques rivalisaient avec la Chine et la Saxe.

De tout ceci se dégage ce fait que c'est à Strasbourg que les premières porcelaines dures ont été faites, quarante ans avant celles de Sèvres, presque en même temps que celles de Meissen.

Les barrières douanières de l'intérieur, le monopole de Sèvres, fabrique royale, ont longtemps enrayé l'essor de l'industrie porcelainière.

La Révolution de 1789 qui est la cause de la dispersion d'une bonne partie des produits du XVIIIe siècle qui meublaient les châteaux, ne nous permet plus d'apprécier si ce n'est dans quelques musées étrangers, l'état exact de l'industrie porcelainière au XVIIIe siècle.

Je crois toutefois utile de donner, avant d'étudier la fabrication des porcelaines, la chronologie des principaux événements du XVIIIe siècle relatifs à l'industrie porcelainière en Allemagne et en France.

	ALLEMAGNE.		FRANCE.
1706	Découverte du kaolin en Saxe par Boëttger.	1709	Charles-François Hannong s'établit faïencier à Strasbourg.
1710	L'électeur de Saxe établit la fabrique de Meissen avec Boëttger et Tschirnhaus.	1714	Il fait avec Wackenfeld les premiers essais de porcelaine.
		1721	Ces essais aboutissent.
		1724	Établissement d'une succursale à Haguenau.
1718	Stofzel, transfuge de Meissen, vient à Vienne.	1732	Paul-Antoine et Balthazar Hannong, fils de Ch. François, succèdent à leur père.
1720	Du Pasquier et Stofzel fondent la manufacture de Vienne.		
		1750	Fabrication de porcelaines dures à Strasbourg.
1744	La manufacture de Vienne est acquise par l'impératrice Marie-Thérèse.	1753	Les Hannong offrent leur secret à Sèvres.
		1754	Arrêt d'exil; ils s'établissent à Frankenthal (Palatinat).
1747	Création de la fabrique de Neudeck (Bavière) par Niedermayer.	1758	Guettard découvre le kaolin d'Alençon.
		1765	Découverte du kaolin à Saint-Yrieix.
1750	Wegeli fonde une fabrique de porcelaine à Berlin.	1765	Gérault fabrique des porcelaines à Orléans.
1754	Hannong s'établit à Frankenthal.	1765	Guettard fabrique des porcelaines à Bagnolet (fabrique du duc d'Orléans).
1758	La fabrique de Neudeck est transférée à Nymphenburg (Bavière).	1765	J.-L. Broilliet fonde la fabrique du Gros Caillou.
		1765	H. Savy fabrique à Marseille.

	ALLEMAGNE.		FRANCE.
1763	Le roi de Prusse Frédéric II achète la fabrique de Berlin et l'érige en manufacture royale.	1766	J.-G. Robert fabrique à Marseille.
		1767	Pierre-Antoine Hannong fabrique à Vincennes.
		1768	Pierre Antoine Hannong fils de Paul-Antoine Hannong, vend son secret à Sèvres.
		1768	Voyage de Millot et Macquer à Bordeaux et Saint-Yrieix.
		1768	Le baron de Beyerlé fonde la fabrique de Niederwiller.
		1769	Pierre-Antoine Hannong crée pour le comte d'Artois une fabrique au faubourg Saint-Lazare à Paris.
		1769	Cyfflé fabrique des porcelaines à Lunéville.
		1773	Locré établit à Paris la fabrique de la Courtille.
		1773	Fabriques créées à Limoges par Massié, Grellet et Fourneira.
		1775	Création de la fabrique de Monsieur à Clignancourt.
		1780	Guerhardt et Dihl fondent une fabrique à Paris.

Il s'est établi également au XVIIIe siècle des manufactures en Russie (Moscou, Saint-Pétersbourg, Twer); en Italie, etc.; mais leur influence n'a pas été dominante, et elles n'ont, ni par le côté technique, ni par le côté artistique, joué le rôle des fabriques allemandes et françaises.

Les porcelaines dures du XVIIIe siècle peuvent se diviser en deux classes : celles qui contiennent dans la pâte de la chaux (soit à l'état de marbre, de craie, de gypse) et celles qui n'en contiennent pas.

Dans les secondes, la craie se trouve remplacée par des matières feldspathiques.

Les pâtes de Saxe, de Vienne, de Nymphenbourg, de Furstemberg, en Allemagne; de Sèvres en France, contenaient de la chaux; celles de Berlin, de Copenhague, de Saint-Pétersbourg, de Strasbourg, de Limoges, de Paris, n'en contenaient pas.

Ces pâtes ne pouvaient admettre toutes que des couvertes plus ou moins calcarifères.

Je résume dans les tableaux de la page 74 les compositions et analyses de quelques-unes de ces pâtes avec les couvertes employées.

Je m'étendrai peu sur la fabrication et la décoration de ces produits, les procédés s'étant depuis un siècle modifiés, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue chimique.

	SAXE 1771.	SAXE 1771.	VIENNE 1812.	NYMPHENBOURG 1821.	BERLIN.	COPENHAGUE.	SAINT-PÉTERSBOURG.	SÈVRES 1780.
Pâtes.								
Kaolin	82	82	72	70	76	40	50	83
Quartz	7	6	12	25,5	»	33	25	11
Tesson [1]	5,5	7	»	»	»	»	»	»
Gypse calciné	5,5	5	4	5,5	»	»	»	»
Feldspath	»	»	12	»	24	27	25	»
Craie	»	»	»	»	»	»	»	5
Couvertes.								
Kaolin	»	»	4	»	31	11	1	»
Quartz	27	27	46	33	43	47	2	40
Feldspath	»	»	»	»	»	37	12	»
Tesson [1]	50	44	46	42	12	»	1	48
Craie	»	»	8	»	»	5 (CaO)	2	12
Gypse	23	29	»	24	14	»	»	»

1. Voir page 81.

Toujours est-il que ces types ont fait la vogue et la gloire de la porcelaine dure au XVIIIe siècle. La teneur en chaux des couvertes, la composition des pâtes ont permis l'éclosion des charmantes statuettes de Saxe et de Frankenthal, des porcelaines décorées de Sèvres, de Frankenthal, de Nymphenbourg, etc.

Les progrès de la science au XIXe siècle, l'étude géologique des gisements de kaolin, l'analyse chimique des éléments, les procédés de plus en plus mécaniques et industriels ont conduit la porcelaine dure dans une voie toute différente.

Aujourd'hui il se fabrique couramment plusieurs types de porcelaines dures.

Je les étudierai suivant leur richesse en kaolin :

1° **Porcelaine à plus de 60 p. 100 de kaolin vrai.** — Cette porcelaine n'est fabriquée qu'à Sèvres depuis 1836.

Les irrégularités minéralogiques que présentaient les divers éléments des pâtes de Sèvres, donnant lieu à des compositions fort différentes, par suite, à une fusibilité irrégulière, Brongniart fit analyser en 1836 par A. Laurent les meilleures et les plus belles pâtes dures de Sèvres de 1770 à 1836 ; — la moyenne des analyses donna

Silice	58
Alumine	34,5
Chaux	4,5
Potasse	3
	100,0

En conséquence de cette analyse, Brongniart[1] fit mêler les matières avec lesquelles on composait cette pâte, à savoir : les kaolins argileux et caillouteux, les argiles et sables extraits par lavage de ces kaolins, toutes matières dont la composition élémentaire avait été connue par des analyses. Je les ai mêlées, dit-il, dans les proportions nécessaires pour donner des pâtes composées des mêmes éléments et dans les mêmes proportions que ci-dessus. Cette pâte se composait en 1839 de :

Argile de kaolin argileux	73
Sable de kaolin caillouteux	24
Craie 6,6, donnant chaux	3
	100

Comme couverte il employait la pegmatite (voir p. 13) qui avait été adoptée depuis 1780 et qui sert encore aujourd'hui.

Cette pegmatite était composée sensiblement de :

Feldspath orthose.	85
Quartz	10
Kaolin.	5
	100

La richesse en kaolin de cette pâte la rend assez difficile à travailler, à cause de sa plasticité excessive ; cette porcelaine, remarquable par son aspect froid, académique, cuit à une température élevée (environ 1 500° C.). Elle se raie difficilement, subit assez facilement les variations de température. Mais sa

1. Brongniart, *Traité des Arts céramiques*, t. II, p. 264 et suiv.

teneur trop forte en alumine, le manque d'alcalis et de silice la privent totalement de propriétés artistiques. Au feu nécessaire pour la cuire, les couleurs de grand feu résistent difficilement; celles qui ne sont pas volatilisées ou atrophiées par l'action du feu se présentent à la sortie du four avec des tons veules, ternes, tristes; pour les couleurs de feu de moufle, elles glacent si difficilement qu'il semble miraculeux d'avoir pu obtenir sur cette matière quelques bonnes peintures. Ce type de porcelaine n'a été adopté nulle part dans l'industrie. Aussi ne m'étendrai-je pas davantage sur cette matière.

2° Porcelaines contenant de 40 à 50 p. 100 de kaolin. — Je rangerai dans cette classe toutes les porcelaines contenant de 40 à 50 p. 100 de kaolin, qu'elles contiennent ou non un peu de chaux (introduit à l'état de carbonate ou de sulfate dans la pâte). Cette classe comprend la plupart des porcelaines de Limoges, de Vierzon, en France; presque toutes celles qui sont fabriquées actuellement en Allemagne, en Bohême, en Russie.

La teneur en kaolin semble être normale pour ces pâtes. Si l'on considère la plasticité des bonnes qualités d'argile grasse de la région de Saint-Yrieix, un mélange de 50 p. 100 de ces argiles supposées exemptes de sable, de 50 p. 100 d'éléments sableux, micacés, feldspathiques ou calcaires, donnera une pâte d'une plasticité telle que le mélange sera facile à tourner, à mouler; c'est le cas de ces pâtes. Mais les éléments fusibles varieront énormément d'une

pâte à l'autre, à teneur égale en kaolin, à plasticité égale. Aussi les résultats d'analyses consignés dans le tableau suivant (page 79) montreront-ils des variations très grandes dans les rapports du kaolin au feldspath et au quartz, groupement un peu hypothétique, ainsi que je l'ai expliqué plus haut.

Ainsi donc les limites extrêmes indiquées par ces analyses sont de :

37 à 53,5	p. 100	de kaolin.
14 à 40	—	de quartz.
12 à 36	—	de feldspath.

Pour ce dernier corps il faut dire que lorsque les alcalis ne sont pas introduits par le feldspath ils sont remplacés par de la chaux. Toutes ces pâtes ont sensiblement la même plasticité, ce qui semble étonnant à première vue; mais si l'on tient compte des variations de plasticité d'une nature de kaolin à l'autre, et surtout de la possibilité de rendre un mélange plus plastique par l'introduction d'argile kaolinaire des Eyzies, on constatera des différences moins grandes dans la teneur en kaolin que dans celle du feldspath et du quartz.

Dans le Limousin comme dans le Berry, l'industrie de la fabrication des pâtes à porcelaines est distincte de celle de la fabrication de la porcelaine. Quoiqu'il y ait quelques exceptions à cette règle, le porcelainier achète généralement ses pâtes toutes faites et ses couvertes prêtes à l'emploi à des fabricants de pâtes. Malgré les variations de composition du tableau

Analyses de pâtes à porcelaines dures.

	FOECY	LIMOGES	VIERZON 1886.	LIMOGES 1886.	LIMOGES 1886.	LIMOGES 1880.	LIMOGES 1892.	LIMOGES	LIMOGES	LIMOGES	LIMOGES
SiO^2.	66,20	70,20	61,06	64,37	68,21	59,85	64,33	68,29	70,12	65,33	68,99
Al^2O^3,Fe^2O^3 . .	28,70	24,70	25,73	23,41	21,24	27,65	22,73	19,80	18,90	22,98	18,50
CaO..	»	0,70	»	»	»	0,98	1,50	»	»	0,30	2,60
MgO	»	0,10	»	»	»	0,45	0,06	»	»	»	»
KO.	5,10	4,30	»	»	»	2,70	1,38	»	»	»	»
NaO	»	»	»	»	»	1,14	2,85	»	»	»	»
Alcalis totaux. .	»	»	6,46	5,52	5,47	»	»	4,20	3,66	4,90	2,24
HO.	»	»	6,75	6,70	5,08	6,37	7,10	5,93	5,62	6,49	5,46
CO^2	»	»	»	»	»	»	»	1,73	1,36	»	2,11
Analystes . .	Salvétat.	Salvétat.	Laborat. de Sèvres.	Laborat. de Sèvres.	Laborat. de Sèvres.	Laborat. de Sévres.	Auscher.	Auscher.	Auscher.	Auscher.	Auscher.
GROUPEMENT HYPOTHÉTIQUE											
Kaolin	»	»	37,29	41,46	42,63	53,44	41,99	41,89	38,72	41,40	41,20
Quartz	»	»	27,35	24	21,30	14,04	27,89	39,04	42,17	24	39,90
Feldspath. . . .	»	»	35,36	34,64	36,07	31,66	21,72	13,91	12,46	34,60	14,10
Micas.	»	»	»	»	»	»	8,40	1,15	3,44	»	»
Craie.	»	»	»	»	»	»	»	4,01	2,87	»	4,80

d'analyses, le point de cuisson de toutes ces pâtes est sensiblement le même; les émaux qui conviennent aux unes conviennent presque toujours aux autres.

Mais si le point de cuisson est le même (point maximum 1 480°, point minimum 1 380°), les qualités de la pâte varient énormément d'un produit à un autre. En effet, les isolateurs pour l'électricité, un service de toilette, un service de table, des vaisselles de limonadier, de fines tasses à thé, ne demandent pas la même transparence, le même aspect; le résultat à obtenir dépendra donc souvent d'un mélange habilement fait, et je pourrais citer tel porcelainier qui malaxe intimement trois, quatre et jusqu'à cinq sortes de pâtes différentes pour arriver juste à une qualité voulue pour un objet de forme déterminée.

Pour les services de table, de dessert ordinaires, la transparence est souvent excessive; c'est là une question de prix de revient; l'élément le plus coûteux étant l'élément plastique.

Pour les beaux services, pour la production soignée, la transparence doit atteindre juste la limite voulue; il semble qu'une opacité trop grande, une vitrosité trop forte enlèvent à cette matière ses qualités précieuses, son aspect somptueux et noble. Aussi le grand art du fabricant de pâte consiste à obtenir par l'heureux choix des kaolins, par leur blancheur laiteuse, une transparence idéale, indéfinissable, qui a fait le renom des Alluaud, des Pouyat, des Haviland, des Hache, des Pillivuyt, etc. Pour les usages de toilette, d'industrie, de cuisine, la transpa-

rence ne joue plus le même rôle, une opacité relative est la règle, mais d'autres qualités sont exigées : tantôt c'est la résistance aux variations de température pour les porcelaines devant aller au feu, tantôt une compacité très grande pour les isolateurs et autres appareils d'électricité, tantôt une faible déformation au feu pour les pièces de toilette un peu importantes, etc. On comprendra donc que pour ces divers cas il faudra augmenter plus ou moins, ou la teneur en kaolin qui donne aux pâtes à feu leurs qualités, ou la teneur en feldspath qui donnera de la compacité après cuisson, ou la teneur en micas qui permettra le travail facile d'une pièce importante.

Les pâtes que je viens de décrire admettent des couvertes qui sont tantôt purement feldspathiques, tantôt légèrement calcarifères.

En général on mélange à sec diverses sortes de feldspaths ou pegmatites, auxquelles on joint un peu de quartz et un peu de tesson (le tesson n'est autre chose que de la porcelaine déjà cuite, broyée impalpable). Cette couverte, grâce au tesson qu'elle contient est d'une plasticité telle que son emploi est bien plus commode que celui de la pegmatite qui sert à Sèvres. L'addition de tesson, quelquefois de kaolin en très faible proportion (1/2 à 1 p. 100) permet de couvrir la porcelaine d'une couche de couverte qui me semble être en cru d'une épaisseur double de celle des porcelaines dures de Sèvres; aussi les finesses les plus grandes de gravure ou de relief, les dessins les plus

délicats, comme les plus épais, sont-ils « couverts » par cette matière qui fait valoir toutes les indications de l'artiste et qui donne à la porcelaine française son brillant, sa blancheur laiteuse et son éclat incomparable.

Je donne ci-dessous quelques analyses de couvertes pouvant s'employer sur la porcelaine française. Ces analyses ont été faites au laboratoire de Sèvres.

COUVERTES DE PORCELAINES DURES FRANÇAISES

Silice.	75,56	74,60	77,86
Alumine	15,28	16,10	15,21
Chaux..	1,72	1,26	2,09
Magnésie. . . .	0,52	0,81	»
Potasse.	4,08	4,30	4,61
Soude	2,07	2,04	
Perte au feu. .	0,75	0,76	0,62

GROUPEMENT HYPOTHÉTIQUE

Kaolin	10,64	8,13	»
Quartz	27,47	23,11	»
Feldspath . . .	64,80	68,53	»

Le point de cuisson de ces pâtes est voisin de celui de la pâte dure de Sèvres, en général de 50° à 60° C. inférieur; la teneur moins grande en kaolin, la nature de l'émail donnent à ces pâtes, au point de vue des colorations, une supériorité marquée. L'aspect est plus brillant, plus artistique, quoique moins sévère et académique que celui de la porcelaine de Sèvres, mais avant tout la porcelaine n'est-elle pas une chose gracieuse? Les couleurs de grand feu, sous la couverte comme sur la couverte, se développent mieux; on n'ar-

rive certes pas à tous les effets des Chinois, mais on peut réussir pratiquement mille effets, flambés, fonds d'émaux variés, couleurs et pâtes sous couverte, qui ne s'obtiennent pas avec la porcelaine dure de Sèvres ou qui, lorsqu'ils peuvent y être obtenus, ne le sont qu'au prix de soins inouïs, incompatibles avec les desiderata de l'industrie.

Il faut ajouter que ces pâtes se travaillent bien à la main et à la machine, qu'elles cuisent indistinctement au feu de bois ou au feu de houille dans des fours à flammes directes ou à flammes renversées.

Je ne saurais assez insister sur l'élasticité de ces pâtes ; elles sont interchangeables, si je puis m'exprimer ainsi ; elles ne tressaillent que rarement, alors que le type ultra-kaolinaire de Sèvres se couvre de craquelures, puis casse lorsqu'il manque 25° C. de feu et se déforme, lorsque le feu est trop élevé de 25° C. ; le type français peut subir sans inconvénient des différences de température de 75° C. à 100° C. sans que la qualité de la porcelaine soit altérée au point d'obliger le fabricant à la rebuter ; jamais ces porcelaines ne tressaillent lorsque la pâte est bien préparée et cuite.

CHAPITRE VI

PORCELAINES ORIENTALES

Les porcelaines de Chine et du Japon, qui composent la seconde famille de porcelaines, cuisent aux environs de 1 350° C.; leur teneur en kaolin d'après les analyses que je donne plus loin (voir p. 89), semble s'éloigner peu de 35 à 40 p. 100.

Il y a tant de sortes de porcelaines de Chine et du Japon, les unes blanches et transparentes, les autres colorées de diverses manières et plus ou moins opaques, qu'il semble impossible à première vue de synthétiser toutes ces matières. L'époque lointaine à laquelle remonte cette industrie notamment en Chine ajoute encore à la difficulté.

Mais si l'on étudie les caractères d'opacité ou de transparence de la pâte, la nature même des éléments qui la constituent, la nature chimique des couvertes et des émaux, on arrivera rapidement à une classification scientifique basée sur la transparence ou l'opacité de la pâte, considérée à égalité d'épaisseur; sur la

nature feldspathico-calcaire ou plombifère des couvertes.

J'étudierai en même temps que les grès les produits chinois franchement opaques ; bien que les pièces qui



FIG. 1. — Lanterne en porcelaine chinoise (XVIIe siècle).

ont reçu une couverte plombifère se rapprochent des porcelaines tendres, je les étudierai plus loin en insistant sur leur nature hybride.

Les produits chinois se présentent rarement en blanc, à nos yeux ; le plus généralement les pièces de service ou d'art sont décorées plus ou moins finement de bleu sous émail ; souvent, à un second feu

plus faible, ce décor bleu est rehaussé d'émaux verts de cuivre, roses ou pourpres, etc.

Les porcelaines européennes que j'ai étudiées jusqu'à présent ne pouvaient se décorer sur la couverte, au feu de moufle, que de *couleurs*, matières mises en mince couche, glaçant difficilement; ici nous trouvons la caractéristique absolue des produits orientaux; les couleurs sont remplacées par des *émaux*, verres transparents mis en épaisseur, ajoutant par leur éclat à la beauté de la matière. De plus, les colorations que l'on peut incorporer à la couverte blanche de grand feu sont, grâce au point plus bas de cuisson, moins veules et plus nombreuses. Nous citerons en particulier les bleus, les bleus de ciel après la pluie, les rouges sang-de-bœuf, les flambés, les foies de mulet, les bruns, les noirs, les blancs de Chine si recherchés des collectionneurs.

La transparence de la porcelaine orientale est différente de celle de la porcelaine dure de Sèvres ou de Limoges; tantôt assez développée comme sur certains bols minces, tantôt moyenne comme sur les assiettes et les vases de moyenne dimension, elle a toujours un aspect propre dû à la teinte exquise de la pâte. Alors que les blancs vieux Saxe, les vieilles pâtes dures de Sèvres, le beau Limoges, sont absolument blancs, les pâtes de Chine présentent des teintes très légères, très délicates qui se rapprochent des tons céladonnés de jades pâles; quelquefois la teinte est bleutée ou plus franchement verdâtre; dans d'autres pièces très anciennes, c'est un ton gris fin et précieux que

l'on admire. Que dire de la couverte posée sur cru, toujours si bien liée à la pâte qu'elle fait un tout absolu avec elle, l'animant de son éclat, de sa splendeur, de son miroitement de pierre précieuse! Le *nappé*, le glacé est plus parfait que sur toute autre porcelaine et n'est pas pour peu dans l'enthousiasme que ces produits ont excité lorsqu'ils parvenaient jadis en Europe où l'on ignorait souvent leur provenance, toujours leur fabrication!

La faible teneur en kaolin rendrait la porcelaine de Chine difficile à travailler s'il n'entrait pas dans sa composition des micas en notable proportion.

Dès 1851, les travaux d'Ébelmen[1] et de Salvetat[2] constataient dans les kaolins comme dans les pâtes de Chine la présence de micas en quantité très notable; mais le soin avec lequel on cherchait à éliminer à cette époque les micas dans les décantées kaolinaires, indique bien que le rôle du mica dans la porcelaine n'était pas apprécié à sa juste valeur en Europe; c'est pourtant la structure lamellaire de ce corps, la facilité qu'il donne aux pâtes de sécher, la résistance en cru et la tenue au feu qu'il communique aux pâtes qui font que les Chinois peuvent travailler des porcelaines peu alumineuses, par suite facilement décorables.

Les tentatives faites à Sèvres depuis 1851 jusqu'à

1. *Chimie céramique*, par ÉBELMEN. Paris, Mallet-Bachelier, t. I, 2e tirage.

2. *Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise*, par STANISLAS JULIEN. Notes par SALVÉTAT. Paris, Mallet-Bachelier, 1836, p. LXXXIII.

ce jour, pour reproduire les porcelaines de Chine et du Japon, ont été pendant longtemps contrariées tant à cause de l'indécision au point de vue du point de cuisson qu'à cause de l'emploi d'éléments minéralogiques très différents de ceux de la Chine. Si quelques pièces ont été obtenues, on ne peut pas dire qu'il existe une fabrication normale de cette porcelaine *en tant que porcelaine blanche;* il ne me semble pas non plus que la couverte employée à Sèvres pour la porcelaine chinoise, présente les mêmes qualités que celles de la Chine. Voici (page 89) quelques compositions de porcelaines de Chine et de produits similaires fabriqués à Sèvres.

La composition, en éléments industriels, de la porcelaine nouvelle ou chinoise de Sèvres, a été modifiée successivement; les premières pièces présentées aux expositions ont été marqueés en creux dans la pâte L. V. (Lauth Vogt) 1882.

La composition était de :

Argile décantée du Limousin très pure. . .	46,7
Pegmatite de Saint-Yrieix impalpable. . . .	41,8
Sable siliceux d'Aumont impalpable.	10,3
Craie de Bougival	1,2
	100,0

La couverte était composée de :

Pegmatite de Saint-Yrieix impalpable. . . .	67,64
Sable siliceux d'Aumont impalpable.	9,38
Argile décantée du Limousin très pure. . .	6,50
Craie de Bougival.	16,48
	100,00

Analyses de pâtes à porcelaines orientales.

	CHINE.	CHINE.	CHINE.	CHINE.	CHINE.	CHINE.	SÈVRES 1884.	SÈVRES 1885.	SÈVRES 1892.
SiO^2	70,5	63,5	63,6	65,88	68,7	70,5	60,17	67,89	»
Al^2O^3.	20,7	28,5	21,8	20,88	18,1	20,7	27,18	21,59	»
Fe^2O^3.	0,8	0,8	1,1	1,24	1,8	0,8			
CaO.	0,5	0,6	0,3	0,72	0,6	0,5	1,47	1,11	»
MgO	0,1	traces	0,2	traces	traces	0,1	0,12	0,43	»
KO.	6,0	5,0	3,0	3,36	2,4	»	2,31	1,74	»
NaO.	»	»	2,8	2,54	2,2	3,9	2,71	1,53	»
HO.	»	»	7,7	7,05	6,7	»	6,03	5,15	»
Analystes. .	Laurent	Malaguti	Ebelmen	Ebelmen	Ebelmen	Salvétat.	Lab. Sèvres	Lab. Sèvres	Lab. Sèvres
GROUPEMENT HYPOTHÉTIQUE									
Kaolin.	»	»	»	»	»	»	42,93	35,60	38,00
Quartz.	»	»	»	»	»	»	4,85	25,52	24,00
Feldspaths. . .	»	»	»	»	»	»	52,23	38,88	38,00
Micas.	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Les pièces marquées dans la pâte PN ou PNX (porcelaine nouvelle) fabriquées de 1885 à 1892 diffèrent peu du type préconisé par Salvetat en 1871 :

Argile décantée du Limousin très pure. . .	44,0
Pegmatite de Saint-Yrieix impalpable. . . .	56,0
	100,0

La couverte étant composée de :

Sable siliceux d'Aumont..	43,0
Craie de Bougival	33,0
Biscuit broyé de même porcelaine PN . . .	24,0
	100,0

Ces pâtes sont, à proprement parler, des porcelaines dures attendries ; elles sont loin de présenter les propriétés des porcelaines chinoises. Elles ne sont pas faciles à travailler ; leur cuisson surtout, faite généralement au feu oxydant, est très différente de la cuisson en Chine, qui permet d'avoir dans le même four une flamme réductrice ou neutre et des températures très variées ; leur point de cuisson de 1 325° à 1 350° me semble plus faible que celui de la porcelaine de Chine. De plus, la porcelaine orientale est très exceptionnellement tressaillée ; elle est craquelée à grain plus ou moins gros lorsque le potier le désire, ainsi que je l'expliquerai en causant de la fabrication des couvertes chinoises (voir p. 128), tandis que la porcelaine nouvelle de Sèvres craquelle en réseaux serrés si le feu est un peu trop faible ; si le feu est un peu trop fort, elle craquelle en longs réseaux entraînant souvent la casse de la pièce. Cette porcelaine manque absolument d'élasticité, et ce manque d'élasticité

est dû à l'absence totale ou presque totale de kaolins ou petunzé riches en micas. Le gisement de kaolin micacé de La Montagne (Loire-Inférieure), dont j'ai parlé plus haut, permet d'obtenir des argiles kaoliniques riches en micas naturellement très fins, qui, entrant dans la composition de porcelaines, per-

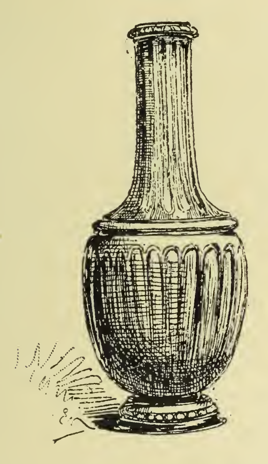


Fig. 5. — Porcelaine nouvelle de Sèvres flambée.

mettent d'obtenir, avec une cuisson réductrice ou neutre, des aspects absolument identiques à ceux des porcelaines de Chine.

Si la porcelaine chinoise est la matière décorable par excellence, elle se raie plus facilement que la porcelaine de Limoges, qui elle-même est rayée plus facilement que la porcelaine dure de Sèvres.

Le bas prix du combustible, des matières premières

et de la main-d'œuvre en Chine, la variété possible et la simplicité des effets décoratifs, permettent aux produits chinois de faire une concurrence très sérieuse aux produits européens. Il est à considérer que le goût du public pour les produits du Japon et de la Chine se développe de plus en plus et que les importations vont sans cesse augmentant. N'est-il pas à craindre de voir d'ici peu les services de table, de dessert ou de toilette fabriqués en Chine sur modèles européens (comme cela s'est vu au XVIIIe siècle, du temps des Compagnies des Indes) envahir progressivement nos marchés? Cette grave question n'est pas sans préoccuper nos céramistes, depuis surtout que, comme au Japon, le travail à la machine commence à remplacer le travail manuel.

CHAPITRE VII

BISCUITS

On fabrique en Europe, rarement en Orient, des pièces non émaillées qui sont connues sous le nom de *biscuits* (quoiqu'elles ne passent pas toujours deux fois au feu). Sans entrer dans de grands détails sur cette fabrication peu céramique et qui donne rarement l'impression d'un objet ciselé par l'artiste, je dirai qu'à Limoges les pâtes sont faites avec des kaolins très blancs et finement porphyrisés, mais que, à part le choix de caillouteuses très blanches et le degré de finesse, les pâtes ne s'éloignent pas des compositions chimiques données plus haut. A Sèvres on a employé longtemps la formule ci-dessous (1826-1881).

Argile de kaolin caillouteux.	64
Pegmatite de Saint-Yrieix.	16
Sable d'Aumont.	16
Craie.	4

correspondant à :

Silice	64,23
Alumine.	30,05
Chaux.	2,87
Potasse	2,79

Ces biscuits étaient cuits en atmosphère neutre. Depuis 1881, presque tous les biscuits sont faits avec les pâtes à porcelaine nouvelle (LV ou PN) décrites pages 88 et 90, cuites au feu oxydant, ce qui leur donne un ton ivoiré très agréable.

Porcelaine de sculpture de Sèvres (1826-1881). — L'écueil de cette fabrication consiste en ce que le moulage est fait dans du plâtre, par moulage à la croûte, ainsi qu'il sera expliqué plus loin; les moules se fatiguent, se piquent assez vite; de plus, à tous les joints des moules, et ce, à cause de la pression exercée, des coutures plus ou moins prononcées apparaissent. L'ouvrier tire, suivant l'importance du sujet, un nombre variable de morceaux qui sont collés les uns aux autres; chaque joint, fait aussi habilement que possible, est collé à la barbotine ou à la pâte molle. Ce montage fini, la pièce est réparée, comme disent les gens du métier, c'est-à-dire ciselée et retouchée. On n'ignore pas combien il est difficile d'interpréter l'œuvre d'un sculpteur, et quel est le soin que nos artistes contemporains apportent à tout le côté matériel de l'exécution d'un bronze à cire perdue ou d'un marbre. Il y a donc déjà, avant le passage au feu, deux causes d'infériorité artistique : les joints et coutures et le réparage du modèle. Après le

feu, les coutures, et surtout les plus importantes, de même que tous les points où une pression irrégulière a été donnée, viennent se dessiner en relief, et il est nécessaire de les enlever après cuisson par un polissage au sable ou au grès. Il en résulte un nouveau tra-



Fig. 6. — Écritoire en biscuit de Sèvres.

vail qui déforme encore les modelés, créant des méplats là où il ne doit pas y en avoir, enlevant un détail artistique en même temps qu'une couture voisine. Heureux encore si le feu trop fort n'a pas fait pencher un bras ou déformer une jambe, ou si un feu un peu faible n'a pas donné à la pièce l'aspect du sucre blanc. Certains biscuits ont un ton ivoiré et sont un peu lustrés (parian anglais), d'autres ont un grain re-

marquable de finesse avec un ton très légèrement verdâtre (biscuits de pâte tendre). Les biscuits de porcelaine dure de Sèvres et de Limoges sont blancs, mats, d'un grain saccharoïde. Cette fabrication a surtout été développée à Sèvres, dont le musée conserve les modèles en terre cuite, en cire ou en plâtre de Falconet, de Boizot, de Pajou, etc. Elle a diminué d'importance depuis que le goût du public s'est affiné.

CHAPITRE VIII

FABRICATION DES PATES A PORCELAINE

Quelle que soit la pâte que l'on désire fabriquer, il faut amener les éléments à un degré de porphyrisation plus ou moins parfait. Le degré de ce broyage se mesure par le numéro du tamis qui laisse passer facilement, en présence d'une quantité d'eau suffisante, tous les éléments broyés. Les numéros les plus employés sont : 80, 100, 120, 150, 180; ce qui veut dire 80, 100.., 180 fils par pouce carré du tamis. Les pâtes pour isolateurs, pour pièces grossières, sont tamisées à 80; les pâtes à figures ou de sculpture (biscuits), à 180. Les porcelaines de service nécessitent généralement un broyage de 100 à 150, suivant le prix de vente.

Deux méthodes sont suivies pour la fabrication des pâtes : ou bien les éléments, dosés non broyés, sont soumis ensemble à un broyage, ou bien chaque élément est broyé puis séché, afin de servir au moment voulu au dosage.

Quoi qu'il en soit, le broyage peut se faire de deux manières : par voie sèche ou par voie humide.

Tout d'abord les roches quartzeuses ou feldspathiques sont, par un concassage préliminaire à la masse, amenées à être grosses comme le poing.

Souvent on les calcine préalablement, soit dans un four couché, soit en four vertical, à la température de 850° C. à 1 000° C. ; mais cette pratique, bonne pour les quartz, me semble condamnable pour les roches feldspathiques qui doivent entrer dans la composition des pâtes céramiques.

On a employé longtemps, pour dégrossir les quartz ou feldspaths calcinés ou non, le *bocard*, appareil complexe et lourd, formé d'une série de pilons verticaux en fonte, agissant dans une auge pavée de grès. Le principal inconvénient de cet appareil, dont le rendement industriel est faible, est de broyer les pilons en fonte en même temps que la matière à broyer et par suite d'introduire dans les pâtes de la grenaille de fonte, source de taches ferrugineuses.

Aujourd'hui c'est le *squeezer* ou broyeur à mâchoires qui semble le plus généralement adopté ; son rendement, à force égale, est presque le double de celui du bocard ; de plus, les mâchoires de fonte agissent par écrasement, là où les pilons de fonte agissaient par choc direct. D'expériences que j'ai faites à Limoges, il résulte que, par 1 000 kilos de quartz broyé, le bocard communique $0^k,310$ de fer à la masse broyée, le squeezer $0^k,112$. Lorsque l'on veut prohiber complètement le contact du fer sans tenir compte du prix de

revient, on emploie des moulins ou *tordoirs* dont le plateau, en grès siliceux, horizontal, reçoit la matière à broyer ; sur ce plateau, à distances inégales d'un axe vertical, se meuvent deux lourdes meules verticales en grès. Cet appareil ne communique pas de fer à la masse, mais est loin d'être continu, et rend le broyage dispendieux. Suivant le constructeur, la transmission est supérieure ou inférieure, mais il faut toujours songer à disposer l'axe des meules mobiles de manière qu'un morceau trop gros de quartz puisse soulever la meule sans casser l'appareil ou ses transmissions de mouvement.

Ce dégrossissage terminé pour le quartz, le feldspath, les pegmatites, le marbre et autres matières dures, il s'agit de broyer impalpable non seulement ces matières, mais encore les kaolins bruts, qui contiennent toujours des sables plus ou moins gros.

Broyage à sec. — Le broyage à sec ne peut se faire utilement qu'avec des matières contenant moins de 5 p. 100 d'humidité quel que soit le système employé. Au-dessus de ce degré les matières pelotent, se ramassent en boule, et le rendement se trouve diminué dans d'énormes proportions.

Le broyage à sec peut se faire dans des moulins analogues aux *moulins à blé*. La meule horizontale inférieure (en grès siliceux) est fixe ; la meule supérieure, en grès également, est mobile autour d'un axe vertical. L'ensemble est protégé par un beffroi en bois et la transmission se fait généralement par le bas. Les meules sont alimentées par le haut au moyen

d'un système analogue au tic tac des moulins à blé. Un bon rendement industriel s'obtiendra avec des meules

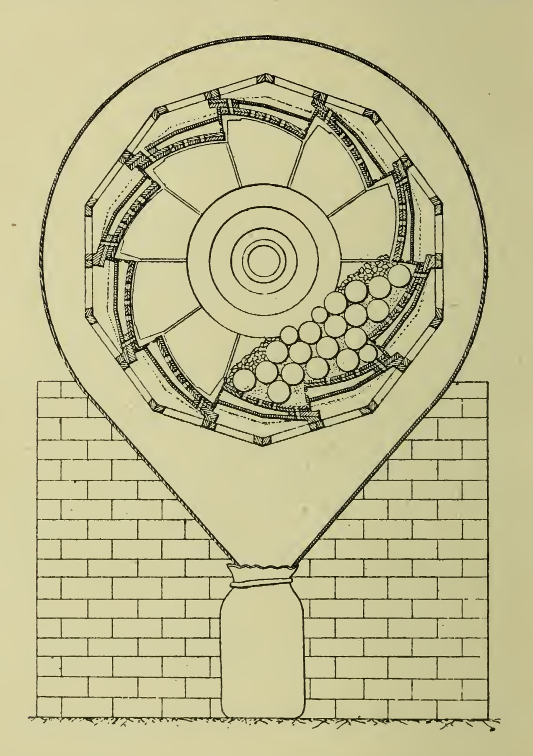


Fig. 7. — Broyeur-tamiseur syst. Alsing. Coupe perpendiculaire à l'axe.

de $1^{m},50$ à $1^{m},80$ de diamètre, tournant à la vitesse de 90 à 75 tours à la minute (force nécessaire, 6 chevaux).

Pour des matières très dures, des quartz non calcinés par exemple, on arrivera à broyer 1 500 kilos en

12 heures de marche ; avec des pegmatites un peu désagrégées, on broiera 2800 ou 3000 kilos pendant le

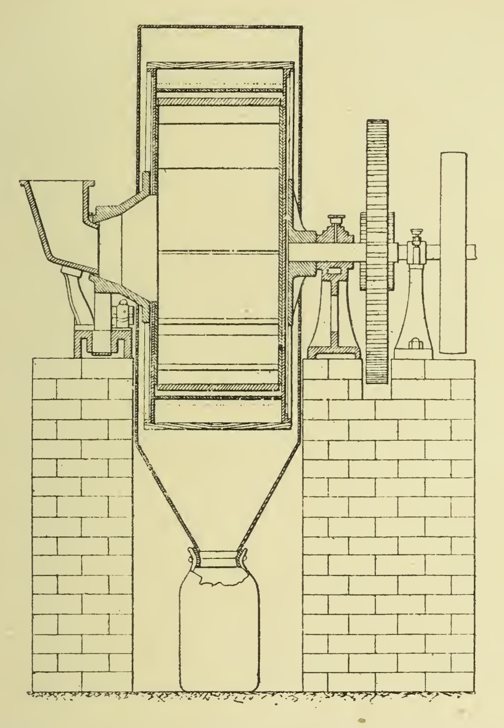


FIG. 8. — Broyeur-tamiseur système Alsing. Coupe sur l'axe.

même temps. La force nécessaire est de 6 à 6,5 chevaux-vapeur. On se sert également de *broyeurs à boulets* ou *à billes*, généralement du système Alsing.

Un cylindre en tôle revêtu de briques en grès por-

celanique se meut autour d'un axe horizontal; ce cylindre est rempli, pour le quart ou le tiers de son volume, de billes en porcelaine, ou mieux de galets en quartz noir (cayeux) choisis bien ronds et de 3 à 4 centimètres de diamètre. Par le mouvement de ce cylindre, dont la vitesse doit être telle que les galets ne soient pas déplacés outre mesure par la rotation, ni trop peu, ce qui diminuerait leur hauteur de chute, on arrive à broyer impalpable les matières les plus dures.

Le rendement dépend de la dureté de la matière à broyer, de son degré de siccité, et surtout de la vitesse du cylindre. Un appareil de 1 mètre de diamètre sur 2 mètres de longueur environ, marchant à la vitesse de 20 à 25 tours à la minute, peut broyer 200 kilos de quartz ou de pegmatite par heure au degré 120, avec 2 chevaux environ de force.

Le *broyage à l'eau* se fait souvent dans des *moulins à blocs* ou *traîneaux* très employés dans la faïencerie et à Sèvres.

Une cuve en bois cerclée de fer, dont le fond est garni de grès siliceux, est percée en son centre d'un trou circulaire par où passe un axe vertical de transmission garni de trois ou cinq palettes; chacune de ces palettes traîne devant elle un bloc en pierre dure (grès, granite, silex) d'un poids de 150 à 200 kilos. Le mouvement est donné par une transmission inférieure. Cet appareil est un mélangeur en même temps qu'un broyeur et il sert surtout pour broyer et malaxer à la fois les éléments des pâtes.

On emploie beaucoup à Limoges les *moulins à petites meules*, qui permettent l'utilisation facile des chutes d'eau de la Vienne.

Une roue hydraulique ou une turbine transmettent le mouvement à une série d'arbres verticaux qui entraînent des meules horizontales de $0^m,72$ à $0^m,78$ de diamètre placées sur des gîtes en silex de $0^m,75$ à $0^m,80$ de diamètre; l'ensemble de ces deux meules est placé dans une cuve en bois cerclée de fer. La transmission est faite par des engrenages supérieurs, et la vitesse est assez faible, de 25 à 30 tours par minute. Des dispositions mécaniques spéciales permettent de déplacer facilement la meule supérieure mobile pour la repiquer, et de permettre à cette meule de se soulever au cas où un fragment un peu gros viendrait à se placer entre les deux meules. Une telle meule rend de 75 à 110 kilos d'éléments broyés par 24 heures, suivant la dureté des éléments et la finesse à obtenir.

On se sert également du *moulin à blé à grandes meules* marchant à l'eau; le système est celui décrit plus haut pour le broyage à sec. Pour une meule de $1^m,50$ de diamètre, tournant à 80 tours par minute et rendant 600 kilos de pâte broyée par vingt-quatre heures il faut compter sur 50 à 55 chevaux de force. Ce système est bon, mais peu économique.

On peut adapter également le moulin Alsing, de façon à permettre de broyer au contact de l'eau; mais ce système n'a pas encore été, à ma connaissance, employé industriellement pour la porcelaine.

Certains industriels préfèrent le broyage à l'eau au

broyage à sec, qui est bien plus économique. Il est bien évident par l'examen microscopique des éléments broyés que leur texture est différente lorsque l'outil broyeur est différent.

On peut concilier le souci d'une bonne fabrication avec celui de l'économie en broyant grossièrement chaque élément à sec et en rebroyant ensuite tous les éléments dosés à l'eau pendant le temps nécessaire (12 heures) pour lier intimement tous les éléments et rendre les séparations, par différence de densité, plus difficiles.

CHAPITRE IX

MÉLANGE DES ÉLÉMENTS

Un type de porcelaine étant adopté, il s'agit de doser divers éléments et de les mélanger de manière à constituer la pâte. Je prendrai comme type une porcelaine de Limoges, les procédés de Sèvres ayant été décrits minutieusement par les auteurs, et ne représentant pas suffisamment un caractère industriel.

Le porcelainier ou le fabricant de pâtes dispose de diverses sortes de kaolins et décantées du Limousin et de la Dordogne, de quartz, de pegmatites et de feldspaths de la région : il s'agit de grouper ces matières de manière à avoir un mélange d'une blancheur suffisante, c'est-à-dire exempt de fer autant que possible (maximum de peroxyde de fer 0,75 p. 100), d'une plasticité convenable, du retrait voulu, d'un prix de revient déterminé, car les prix des pâtes varient de 5 francs à 20 francs par 100 kilos à Limoges.

Ces pâtes sont livrées au consommateur soit à l'état liquide, elles prennent alors le nom de *barbotines* et contiennent environ 50 p. 100 d'eau; soit à l'état de *pâte molle* contenant environ 25 p. 100 d'eau; soit enfin

à l'état sec à l'air, c'est-à-dire contenant encore 8 à 10 p. 100 d'humidité.

Que l'on se serve de déterminations pratiques résultant du passage au feu d'échantillons des matières à employer et de lévigations bien faites, ou bien que le chimiste intervienne, analysant chaque élément, ce qui est plus sûr, on arrive à constituer sur le papier une formule de pâte.

Dans le premier cas, pour diminuer les causes d'erreurs résultant des teneurs variables des kaolins en sables quartzeux ou feldspathiques, on mélange un grand nombre de kaolins argileux ou caillouteux de carrières différentes : on arrive ainsi à des moyennes.

La balance et l'analyse chimique, moyens si précieux pour arriver à un dosage toujours constant avec lui-même, sont encore peu adoptées. On se sert encore en bien des endroits de la mesure par volumes à sec, bien irrégulière, qui permet difficilement d'arriver à un dosage très rigoureux.

Je suis donc obligé de donner un type de composition en *volumes* quelque peu scientifique que soit ce procédé :

Mélange de 8 sortes de kaolins argileux en proportion variant suivant le prix, la blancheur, la plasticité.	9 volumes.
Mélange de 6 sortes de kaolins caillouteux en proportion variant suivant le prix, la blancheur, la fusibilité..	9 —
Mélange de 2 sortes de décantées	2 —
Mélange de 2 sortes de feldspaths.	5 —
Mélange de 2 sortes de pegmatites	5 —
Total.	30 volumes.

Or les kaolins argileux contiennent de 12 à 30 p. 100 d'eau hygrométrique, les caillouteux de 11 à 22 p. 100 : on voit donc la difficulté d'arriver juste ainsi.

Il vaut mieux procéder en poids; une composition assez voisine de celle ci-dessus dosée en poids (éléments supposés secs à 110° C.) se fera de la façon suivante :

Mélange de 8 sortes de kaolins argileux. . . .	21,50
— de 6 sortes de kaolins caillouteux . .	29,50
— de 2 sortes de décantées.	6,25
— de 2 sortes de feldspaths.	20
— de 2 sortes de pegmatites	22,75
Total.	100,00

Généralement les éléments durs sont broyés à sec d'avance, et tous les éléments pesés ou volumés sont introduits dans les moulins broyant à l'eau décrits plus haut. Il est essentiel de laisser ces éléments se rebroyer ainsi en se malaxant douze heures au moins, plus si on le peut, la qualité des pâtes, en finesse et en plasticité, s'améliorant au contact de l'eau.

On produit ainsi des barbotines très claires titrant 75 à 85 p. 100 d'eau; on laisse ces barbotines se décanter dans des cuves ou citernes absorbantes, généralement en ciment, ce qui améliore encore la pâte; mais souvent la barbotine claire passe directement à la presse. Tous les anciens systèmes de raffermissement semblant aujourd'hui détrônés par la presse, je ne décrirai que cette manière de faire le plus succinctement possible, les constructeurs de machine distribuant aujourd'hui des catalogues illus-

trés donnant tous les renseignements désirables.

La pâte tamisée au degré voulu, généralement au moyen de tamis rotatifs, est aspirée par une pompe à piston plongeur. Ce piston se meut dans une chambre hydraulique qui imprime des mouvements d'aspiration et de refoulement à des lames de cuir, en contact avec la barbotine, de sorte qu'il n'existe aucun contact entre la pâte et le piston ; cette pompe refoule, sous pression, le liquide à filtrer dans un véritable filtre-presse appelé communément *presse anglaise* dans l'industrie céramique. Les panneaux de ces filtres-presses, en bois ou en métal, unis, striés ou à cannelures, sont garnis de toiles filtrantes.

Le tube d'arrivée du liquide communique avec ces chambres garnies de toiles, par des ajutages supérieurs ou latéraux, ou mieux par un conduit central. La barbotine remplit d'abord tout l'appareil, puis la pompe fonctionnant toujours, la pression s'établit et la filtration s'opère. Suivant les systèmes, la pression est de 4 à 10 kilos par centimètre carré.

Pour une presse métallique à 50 panneaux donnant environ 4 kilos de pâte par panneau, soit 200 kilos en vingt-cinq minutes, on peut, en tenant compte des opérations de garnissage des toiles, de chargement et déchargement, presser 3 200 kilos de pâte en dix heures. Les toiles doivent être choisies avec soin. On en emploie en pur fil de chanvre (carda) fabriquées dans le nord de la France, mais les toiles de coton façon grain de poudre, fabriquées à Mâcon ou en Angleterre, sont bien préférables.

Il faut aussi, pour faire durer ces toiles autant que possible, les entretenir soigneusement. Un *lavage* à grande eau à la sortie de la presse, suivi d'un séchage immédiat à l'étuve, semble être bon pour éviter l'attaque de ces toiles par des moisissures. On peut également après le lavage et avant le séchage les plonger dans un bain d'eau contenant 1/10 000 de bichlorure de mercure.

A la sortie du filtre-presse les pâtes sont rêches. Les parties en contact avec la toile sont plus séchées que les parties centrales; aussi la pâte n'a-t-elle pas encore acquis cette homogénéité générale qui est indispensable au travail de la porcelaine. Autrefois, on conservait dans des fosses en ciment, disposées en des endroits humides, les pâtes pendant un temps plus ou moins long (de 8 jours à 1 ou 2 mois), puis on les marchait au pied pour les mélanger; on raconte aussi que les Chinois conservaient les pâtes cent ans pour les améliorer. De fait le *pourrissage*, nom consacré de cette opération, donne des qualités aux pâtes; mais ces qualités ne semblent pas en rapport avec la dépense à faire.

Le pourrissage détruit une minime quantité de fer insoluble qu'il transforme en sulfate de fer soluble; de plus la kaolinisation se continue et augmente la plasticité.

Aujourd'hui on sait par le récit des voyageurs que les Chinois ne conservent pas leurs pâtes cent ans durant, et les industriels européens ont remplacé le pourrissage par deux appareils. L'un destiné à enle-

ver le fer introduit par l'outillage mécanique (le seul rendu soluble par le pourrissage), l'autre destiné à remplacer le pied du marcheur.

A l'entrée de la pompe du filtre-presse, on dispose sur le conduit des barbotines un fort aimant en fer à cheval, dont les deux pôles sont baignés par la barbotine; cet électro-aimant retient toutes les particules métalliques nuisibles; des dispositifs plus ou moins ingénieux permettent d'enlever facilement ces particules métalliques sans souiller la masse.

Pour remplacer l'ancien marchage au pied qui suivait le pourrissage, on se sert de la *machine à marcher* inventée par Tritschler, de Limoges. Sur une base horizontale légèrement inclinée du centre vers les bords se meuvent deux rouleaux tronconiques à axe oblique mus par un arbre vertical central. La pâte, laminée entre la base et les rouleaux, s'allonge, se pétrit, et est rendue facilement homogène, propre au travail du porcelainier.

C'est donc ainsi que se fabrique la pâte molle; pour la barbotine qui sert au coulage, elle se fait en décantant la pâte liquide, au sortir des broyeurs, lorsque la quantité d'eau surnageante est jugée suffisante. La matière restante est brassée avec des outils en bois et livrée en tonneaux à l'atelier de travail.

La pâte sèche s'obtient par dessiccation lente (à l'air ou dans des séchoirs dont la température ne dépasse pas 50° C.) de la pâte molle. C'est à cet état qu'elle est généralement expédiée loin des centres de fabrication dans des caisses ou des tonneaux en bois.

CHAPITRE X

MODÈLES ET MOULES

Jusqu'à présent nous avons vu apparaître successivement le rôle du géologue, du chimiste et du mécanicien dans la fabrication de la porcelaine... La pâte est maintenant prête, il faut la façonner, d'une façon à la fois utile et agréable, ce qui est le propre de tout travail d'art appliqué à l'industrie. L'artiste intervient donc pour transformer la matière brute en un objet précieux. Son rôle est des plus importants. La connaissance qu'il a des qualités et des défauts de la pâte à employer lui permettront d'approprier la forme d'abord, le décor ensuite à leur destination véritable. Il exprime sa pensée par des croquis, des dessins, des ébauches esquissées en terre, en plastiline, en cire, et le fabricant devra s'efforcer de juger, sur une matière différente de la porcelaine, ce que donnera la pièce une fois fabriquée, cuite. La chose est délicate et une certaine pratique du métier est nécessaire pour éviter des déboires, à la sortie du feu.

Une fois l'esquisse adoptée, l'idée admise, un trait définitif, s'il s'agit de pièces géométriques, un modèle en plâtre s'il s'agit de pièces ornemanisées, bas-relief ou ronde bosse, est établi par l'artiste.

On a dû tenir compte dans cet établissement d'abord du *retrait* de la porcelaine au feu; ce retrait variable pour la même pâte quand le procédé de fabrication est différent (tournage, moulage, coulage ou calibrage) est généralement plus grand en hauteur qu'en largeur; en effet le retrait, dû à une action chimique égale en tous points, se complique du tassement vertical assez prononcé pour une matière qui atteint le commencement de son point de vitrification.

Voici quelques mesures de retrait :

	SÈVRES.		LIMOGES.	
	HAUTEUR.	LARGEUR.	HAUTEUR.	LARGEUR.
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Tournage . . .	14	9	12	10
Moulage. . . .	13	10	12	10
Coulage. . . .	20	15	15	12
Calibrage . . .	11	10	9	8

Il faut tenir compte aussi de ce que la porcelaine tournée se détord au feu, si je puis m'exprimer ainsi. Il en résulte qu'une anse placée verticale sur une tasse crue tournée sera inclinée d'environ 20° sur l'axe vertical après défournement; on remédie à cet inconvénient en donnant à l'anse au moment du gar-

nissage une position oblique telle, qu'après cuisson, cette anse ait pris une situation verticale.

Pour obvier aux déformations des pièces, pour les

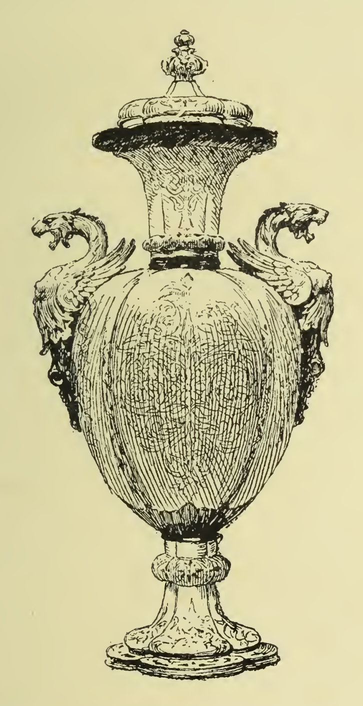


Fig. 9. — Porcelaine dure de Sèvres (1856).

empêcher de s'ovaliser au feu, pour forcer, dans certains cas, le retrait à se faire régulièrement, on est obligé de prévoir quels seront les supports en biscuit (isolés de la porcelaine par une engobe réfractaire,

très siliceuse ou très alumineuse) qu'il faudra tourner ou mouler.

Tout ce travail se traduit par un trait définitif pour les pièces géométriques, par un modèle en plâtre pour les autres pièces.

Si le modèle le permet, on en tirera un moule en plâtre d'un seul tenant (bas-relief, pièces plates ornées), mais ce cas est le moins fréquent, et le plus souvent le modèle est découpé en une série de morceaux, dont chacun est de dépouille, et sert à l'établissement d'un moule en plâtre.

Tournage. — Le tour du potier est un appareil très ancien et très connu ; le plus généralement il est à axe vertical et se meut au pied ; depuis une vingtaine d'années, le développement du machinisme a été cause de la construction de tours mécaniques à vitesse variable, très appréciés et à juste titre... Sur le tour à axe vertical se font généralement toutes les pièces de profil géométrique. Je ne saurais donner ici la suite de tous les procédés employés par le porcelainier ; ils varient avec la forme des pièces et les conditions de travail de la pâte. Je citerai les plus essentiels.

Travail par ébauche et tournassage. — L'ouvrier, après avoir rabattu la pâte à la main ou à la machine (on emploie aujourd'hui beaucoup de petites machines analogues à la marcheuse de Tritschler à vitesse plus grande, appelées machines à battre), fabrique une ébauche.

L'*ébauche* se fait sur la base en plâtre placée au haut de l'axe vertical du tour ; l'ouvrier y met une

balle de pâte un peu plus importante que la pièce à faire, puis il presse avec ses doigts autour de cette balle en allant d'abord de bas en haut, puis en ramenant de haut en bas jusqu'à ce que la masse totale mise en mouvement soit en quelque sorte laminée par ce travail ; puis, imprégnant sa main de barbotine, le potier creuse la pâte pour obtenir *grosso modo* le profil et les épaisseurs nécessaires, se servant ou non d'estèques en bois ou en cuivre. Cette ébauche ou *housse* doit être faite avec soin pour éviter qu'après feu n'apparaissent les mouvements hélicoïdaux communiqués à la pâte (*vissage*).

On peut également être conduit à faire cette ébauche ou housse de façon à l'imprimer ensuite sur un moule de plâtre ornemanisé (fabrication des assiettes ornées), disposé sur la girelle du tour; ce moulage tourné nécessite des précautions spéciales d'humidité du moule, de degré de raffermissement de pâte, etc.

L'ébauche préparée ainsi est mise à sécher après démoulage sur les rayons de l'atelier et est ensuite *tournassée;* c'est-à-dire conduite au profil définitif du dessin par un véritable tournage au moyen d'un outil tranchant (tournassin), soit sur un tour à axe vertical, soit sur un tour à axe horizontal.

Pour des pièces un peu grandes on *moule à la crapaudine sur le tour* (saladiers, cuvettes, soupières), etc.

L'ébauche est mise dans l'intérieur d'un moule qui donne un profil légèrement différent du profil défini-

tif mais de dépouille; l'ouvrier imprime la pâte contre le moule puis fait l'intérieur au moyen d'un calibre qui porte extérieurement sur le bord du moule et intérieurement sur une crapaudine en porcelaine placée au centre. Le tournage fait ainsi livre une pièce ébauchée entre un moule et un calibre et qu'un tournassage ultérieur, après dessiccation, conduira à son profil définitif.

Travail par moulage. — Ce travail s'applique aux pièces les plus variées; on fait pénétrer de la pâte molle à l'intérieur d'un moule en plâtre à une ou plusieurs coquilles, pour obtenir en relief les indications creuses et *vice versa.*

La pâte, après battage suffisant, est étendue sur une peau de mouton bien régulière, placée sur une dalle de marbre; au milieu de cette peau se dispose la balle de pâte et deux réglettes de bois bien égales sont placées latéralement; puis au moyen d'un rouleau cylindrique, on forme une *croûte;* pour cela on lamine la pâte jusqu'à ce qu'elle ait l'épaisseur des réglettes. Cette croûte retournée habilement avec la peau de mouton sur laquelle elle a été faite est introduite partiellement ou totalement dans l'intérieur du moule. L'ouvrier forme avec cette croûte, par moulage, la couche régulière intérieure; mais comme il est nécessaire d'avoir des parties renforcées, l'ouvrier façonne des *colombins* ou cylindres allongés qu'il applique en fragments dans les creux, jusqu'à ce que l'épaisseur voulue ait été obtenue. Je ne saurais sans de nombreux croquis entrer dans le détail de construction des

moules, de leurs chapes, etc.; toujours est-il que c'est par ce procédé que sont obtenus la plupart des biscuits; j'ai expliqué plus haut les inconvénients de cette fabrication dus à la pression inégale du mouleur et aux bavures qui se produisent dans les joints.

Travail par coulage. — Si dans un moule en plâtre sec on fait arriver une barbotine bien régulière comme densité et privée par agitation de bulles d'air, le plâtre absorbera plus ou moins vite l'eau de la barbotine et il restera, contre les parois du plâtre, la pâte dont l'eau a été absorbée.

Ceci fait, si on vide le moule et si on laisse la dessiccation se faire régulièrement, on obtiendra une pièce de porcelaine qui n'aura plus qu'à être tournassée comme une ébauche.

Ce procédé s'emploie surtout pour faire des tasses minces (coquilles d'œuf), des garnitures (anses de tasses et de cafetières) très légères, déformant peu les pièces; — des plateaux de cabaret minces, etc.

A Sèvres, où le procédé du coulage est très perfectionné, on fabrique également de très grosses pièces en combinant à l'action absorbante du plâtre l'action du vide ou de l'air comprimé.

Le *coulage par le vide* s'exécute sur une plate-forme en marbre bien dressée sur laquelle on dispose le moule en plâtre; la pâte arrive dans la partie inférieure de ce moule par des canalisations complexes; ce moule est entouré d'une cloche en tôle, qui porte à la fois sur le haut du moule et sur la plate-forme; c'est entre cette cloche et le moule que

l'air est raréfié soit au moyen de trompes à eau, soit de machines pneumatiques; le but de cette raréfaction est de permettre à la pâte molle qui vient de se déposer sur le plâtre de se ressuyer plus rapidement, de se maintenir par différence de pression.

Dans le *coulage par l'air comprimé,* il n'est plus nécessaire de se servir de cloche; le moule est fermé temporairement à sa partie supérieure par un ajutage permettant d'insuffler l'air comprimé.

Ces deux procédés, qui permettent d'obtenir des pièces considérables (1^m,20 de diamètre, 1^m,10 de hauteur), exigent une installation complexe et dispendieuse; une bonne pratique consiste à revêtir l'intérieur des moules de mousseline légère que l'on y applique avec un peu de barbotine; cette couche superficielle, que l'on enlèvera au moment du tournassage, augmente la résistance de la couche à raffermir et permet d'obtenir des pièces impossibles à produire sans cette précaution.

Le tournassage qui suit ce travail, lorsque la pièce est sèche et démoulée, donne à la pièce son profil définitif.

Travail par calibrage.— Le calibrage a été imaginé à Sèvres pour obtenir des assiettes de dimensions mathématiques. Sur une peau chamoisée disposée sur un rondeau en plâtre fixé sur la girelle d'un tour, on ébauche une balle de pâte que l'on conduit à former un cylindre plat d'un centimètre de hauteur environ; un outil, exactement disposé à la distance voulue, se rabat autour d'une charnière horizontale et comme le

rondeau en plâtre a une grandeur invariable, cet outil donne à cette croûte une épaisseur mathématique.

Sur un autre tour voisin du premier est disposé le moule donnant le profil intérieur de l'assiette. On y dispose la croûte que l'on a soin de centrer et que l'on détache de la peau chamoisée avec un outil en bois; cette croûte est alors moulée à l'éponge.

Puis on abaisse un calibre de métal (mobile autour d'une charnière horizontale) qui donne le profil définitif extérieur de l'assiette en enlevant l'excédent de matière molle. On laisse sécher l'assiette sur ce moule intérieur, on démoule, on tournasse les bords et on rachève l'intérieur avant de passer au feu.

Si je détaille ce procédé, c'est qu'il a été le point de départ de l'introduction des machines dans l'industrie de la porcelaine. En rendant mécaniques et continues la suite des opérations décrites plus haut, M. P. Faure, de Limoges, a construit des machines capables de faire les assiettes, les plats ronds ou ovales. Le principe est le même que celui décrit pour le calibrage, mais les détails de construction des machines varient suivant la forme et le profil des pièces.

Un jeu de machines comprendra toujours : 1° une machine qui calibrera les moules intérieurs en plâtre de manière à leur donner même profil et hauteur; cette machine pourra servir pour un groupe des machines suivantes :

2° Une machine à faire les croûtes;

3° Une machine qui centrera les croûtes sur les moules;

4° Une machine qui calibrera l'extérieur de l'assiette;

5° Un tour vertical finisseur pour faire les bords.

Chacune de ces machines fait mécaniquement une des opérations décrites à propos du calibrage. Le rôle économique de ces machines a été prodigieux; à travail égal d'homme, la production se trouve pour certaines pièces plus que décuplée.

Les pièces de petit et de moyen creux ont trouvé des perfectionnements analogues sur lesquels il m'est impossible d'insister ici; toujours est-il que ce progrès industriel peut se définir ainsi : l'ébauche suivie du tournassage est remplacée par un véritable moulage à la croûte dans lequel le rôle de l'ouvrier se traduit plus par une surveillance que par une action intelligente.

Un ouvrier doublé d'un aide peuvent produire aujourd'hui 8 à 900 assiettes ou 150 plats ovales de grandeur moyenne par jour. La fabrication est plus régulière et plus soignée que par les procédés anciens.

Rachevage. — La plupart des pièces fabriquées par un des procédés décrits sont rachevées; les unes sont passées sur le tour, au papier sablé plus ou moins fin; d'autres sont revues par des artistes qui retouchent et améliorent le travail du mouleur; ce travail, qui complète souvent le réparage fait par le mouleur, est indispensable pour des pièces d'art.

D'autres pièces sont découpées, réticulées, évidées, à la main, au moyen d'outils en acier.

Quelquefois des pièces rondes sont emmandrinées sur le tour à guillocher (si usité pour la création des modèles d'orfèvrerie) ; on leur donne ainsi des formes polygonales, des gaudrons réguliers ou non, suivant les indications de la rosette à guillocher. Ce procédé peu industriel n'est plus guère employé qu'à Sèvres.

Résumé. — Suivant la nature de la pâte, ses qualités spéciales, le nombre de pièces à produire, le porcelainier emploiera l'un ou l'autre des procédés décrits ; il est impossible de fixer des lois en pareille matière, aussi le céramiste doit-il connaître tous les moyens de travail, prêt à appliquer, suivant la forme et les conditions économiques, le procédé qui lui semblera le meilleur.

CHAPITRE XI

ÉMAILLAGE OU MISE EN COUVERTE

Les Chinois ne dégourdissent pas les porcelaines. Les pâtes qu'ils emploient, riches en éléments micacés, durcissent régulièrement grâce à la texture de ce corps ; aussi, peu préoccupés de la fragilité, ne dégourdissent-ils pas les pièces et les émaillent-ils sur cru.

En Europe, au contraire, la porcelaine, fabriquée sans micas, riche en kaolins, est trop friable, trop fragile pour être émaillée sur cru. Aussi utilise-t-on la chaleur perdue des fours pour conduire les pièces crues à la température de 800° à 1 000° C. suivant les usines. Elles sont alors appelées pièces en *dégourdi*.

La porcelaine dégourdie a perdu son eau de constitution, elle est poreuse, légèrement sonore, a acquis la ténacité nécessaire pour pouvoir être maniée et trempée dans un bain de couverte. Elle prend, au passage au globe du four dont on utilise la chaleur perdue, une coloration rose chair pâle quand le dégourdi est trop faible, rose pâle quand le dégourdi

est bon, blanche quand le dégourdi est trop fort. Elle a subi déjà un retrait appréciable.

Les couvertes sont fabriquées très différemment suivant les usines.

Pour les porcelaines à plus de 60 p. 100 *de kaolin vrai* comme celle de Sèvres, on se sert de pegmatite de Saint-Yrieix, pure, broyée impalpable; la pegmatite convenablement triée pour en éliminer les morceaux par trop quartzeux est calcinée au globe des fours, puis broyée à l'eau impalpable au degré 180 dans des moulins broyeurs. La pegmatite est tamisée avec soin en présence de l'eau; elle présente alors des effets curieux: elle se tasse au fond des cuves prenant une dureté et une viscosité bizarre; on dit alors que la matière plombe. Pour éviter autant que possible cet inconvénient, on additionne le liquide surnageant de vinaigre; la mise en suspension est rendue ainsi plus facile.

Le mélange d'eau et de pegmatite doit avoir une densité en rapport : 1° avec le mode de fabrication de la pièce; 2° avec l'épaisseur de cette pièce; 3° avec le degré de dégourdi. La teneur en pegmatite varie ainsi de 40 à 60 p. 100 du mélange. Pour des pièces coulées ou un peu épaisses, la durée d'immersion sera plus longue.

La pièce sortie du four est époussetée; on évite avec soin tout contact avec des corps gras qui empêcheraient la prise de l'émail. On trempe la pièce dans le bain; on la retire quelques secondes après. Le peu de plasticité de la pegmatite donne lieu à de grandes irrégularités de mise en couverte. Aussi des ouvrières sont-elles employées à retoucher au pin-

ceau ou à la gradine les défectuosités et les irrégularités de la couverte.

La couche de pegmatite mise sur la porcelaine dure de Sèvres est forcément mince, et le moindre excès d'épaisseur entraîne la tressaillure ou la casse de la pièce.

Pour les porcelaines contenant de 40 à 50 p. 100 *de kaolin vrai* comme celle de Limoges, la couverte est composée. On broie séparément, au degré 180, diverses sortes de feldspaths et de pegmatites du Limousin; on broie également du tesson, c'est-à-dire du biscuit de porcelaine, du quartz, quelquefois du marbre; ces éléments secs à l'air sont dans certains cas *volumés*, d'autres fois *pesés*.

Que la couverte soit calcarifère ou non, le procédé est le même. Je donnerai ici deux compositions différentes, l'une volumée, l'autre pesée; je dirai encore que le procédé de pesage est supérieur pour obtenir la constance dans la production.

1° *Composition par volumage.*

	Volumes.	Poids approxim.	0/0
Pegmatites du Limousin. . . .	6	216 k.	50
Feldspaths du Limousin. . . .	4	144 k.	32
Quartz.	1	40 k.	9,25
Tesson	1	38 k.	8,75
	12 vol.	438 k.	100 k.

2° *Composition par pesée.*

Pegmatites du Limousin (plusieurs sortes mêlées).	66 k.
Quartz	18 k.
Tesson.	16 k.
	100 k.

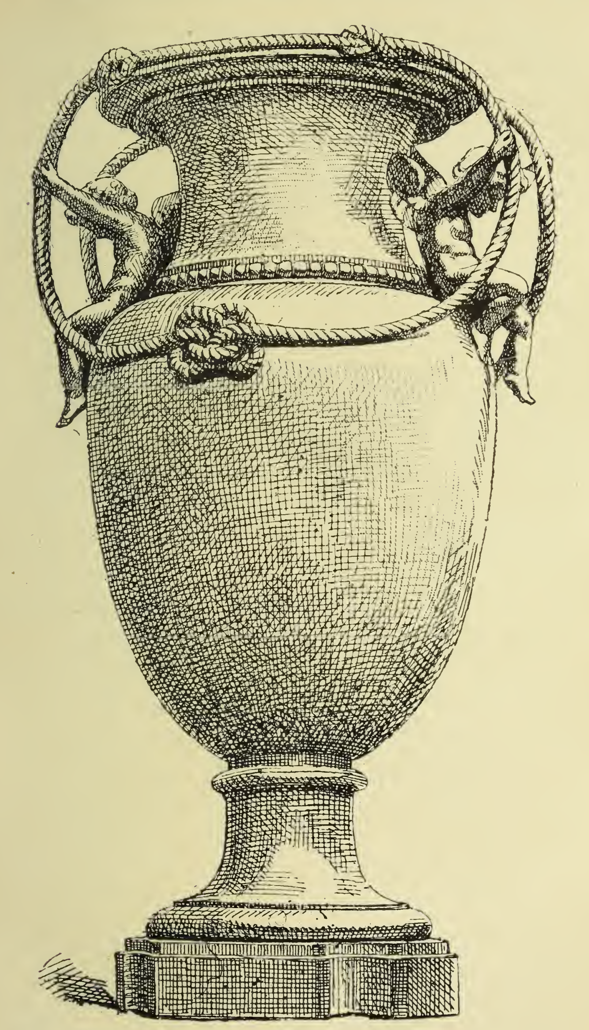


Fig. 10. — Vase en porcelaine dure Sèvres, 1882 (Musée du Louvre).

La première de ces formules donne une couverte moins belle et un peu moins fusible que la seconde.

Tous ces éléments sont mélangés à sec soit au broyeur Alsing, soit à la pelle sur une aire en bois. Ils sont livrés en poudre au consommateur; d'autres fois le mélange pesé ou volumé est rebroyé à l'eau; après broyage on sèche la matière pour la livrer au fabricant.

Cette couverte est plus plastique et plus facile à employer que celle de Sèvres; elle reste en suspension dans l'eau sans addition de vinaigre.

L'ouvrier chargé de l'émaillage met la poudre sèche en suspension dans l'eau dans un premier baquet; quand l'émail s'est bien imprégné d'eau, on tamise cette bouillie, à travers un tamis 160 ou 180, dans un second baquet où se fait l'émaillage. Quoique les bons émailleurs jugent « à la main » le degré de l'émail, il vaut mieux se servir d'un aréomètre ou pèse-émail gradué sur sa tige de 5 à 55 et qui s'enfonce dans l'émail d'autant plus que sa densité est moins grande.

Là encore le degré varie suivant la nature de la pièce à immerger. Les limites extrêmes que j'ai constatées sont 40 à 50 degrés, représentant environ 45 à 55 p. 100 de couverte p. 100 du mélange. La pièce nettoyée et brossée, époussetée convenablement, mécaniquement ou non, est immergée rapidement. Par suite de la plasticité du mélange (que l'on augmente quelquefois par l'addition de 1/3 à 1/2 p. 100 de kaolin finement broyé), l'émail couvre mieux et plus régulièrement qu'à Sèvres; aussi la retouche est-elle plus facile et moins coûteuse. De plus, la matière étant

plus élastique, une légère variation dans l'épaisseur de l'émail ne détruit pas la pièce à la sortie du four.

Comme dans certaines pâtes à porcelaine, on introduit quelquefois dans la couverte de la craie en place d'une partie du feldspath ; on obtient ainsi des produits plus vitreux, plus fusibles, mais dont la couverte est souvent coque d'œuf ou ressuyée.

Pour les porcelaines orientales le procédé est tout différent ; l'émaillage est fait sur cru et non sur dégourdi.

La couverte est fabriquée (missions du P. Ly, du P. d'Entrecolles, de M. Scherzer) avec du *yeou-ko* et du *hoei-yeou ;* le yeou-ko est une pegmatite contenant du quartz, du feldspath et du mica. Le hoei-yeou est un lait de chaux obtenu en calcinant du calcaire avec des feuilles de fougère sèches, et en éteignant le produit dans l'eau. Le mélange de ces deux matières est fait en proportions variables. Salvétat[1] analysant des couvertes chinoises donne les compositions suivantes :

Silice..............	68	à	64,1
Alumine...........	12	à	10,2
Chaux.............	14	à	21
Alcalis............	6	à	5,1

Or comme l'analyse du yeou-ko lui a donné :

Silice...............	75,9
Alumine	14,2
O. de fer............	0,8
Chaux	0,5
O. de mang...........	0,3
Potasse..............	2,8
Soude	3,5
Eau	2,3

1. Stanislas Julien, *Hist. et fabric. de la porc. chinoise.* Paris, 1856, p. 132.

il en résulte que les deux compositions ci-dessus sont constituées d'environ

Yeou-ko	87	à	80
Hoei-yeou.	13	à	20

Ces matières sont broyées impalpable et mises en suspension dans l'eau.

Le potier chinois procède par insufflation ou par aspersion pour couvrir la porcelaine crue d'une série de couches minces de couverte.

Les couvertes chinoises sont loin d'être toutes de même nature ; les fours donnant des points de cuisson très différents dans la même chambre, on y fabrique des porcelaines de fusibilité différente.

Les sortes de yeou-ko sont très variables, plus ou moins riches en silice ou en kaolin, elles donnent des produits très variés. Il résulte du rapport de mission de M. Scherzer que les craquelés s'obtiennent par diminution ou suppression du lait de chaux (hoei-yeou). Un petit craquelé à grains fins contiendra encore environ 1/10 de chaux, un craquelé à gros réseau n'en contiendra plus du tout.

Ces couvertes sont rendues plastiques par le kaolin et le mica qu'elles contiennent.

J'ai donné plus haut (p. 88 et 89), en regard des compositions de pâtes, les compositions des couvertes employées à Sèvres pour la porcelaine nouvelle ou chinoise fabriquée en cet établissement.

Les éléments broyés impalpables sont mêlés et re-

broyés à l'eau ; l'émaillage se fait par trempage ou par insufflation.

Les couvertes blanches de ces pâtes sont d'un emploi un peu plus facile que la pegmatite; mais le moindre excès d'épaisseur voile la pièce ou la rend fragile au feu.

Les Chinois se servent tantôt de couvertes blanches, tantôt de couvertes teintées, qui sont fabriquées en incorporant aux compositions blanches des minerais ou oxydes métalliques. Là encore on insuffle, comme il a été dit; à Sèvres l'insufflation des couvertes colorées se fait en pulvérisant la couverte liquide par de l'air sous pression ; après chaque couche on laisse ressuyer la pièce. Ce procédé qui donne des épaisseurs régulières nécessite des couvertes rendues légèrement plastiques et adhérentes de façon à rendre les pièces maniables après insufflation.

Pour toutes ces couvertes il y a un élément dont il est difficile de se rendre compte industriellement et qui influe beaucoup sur le résultat final ; je veux parler du degré de finesse. Une couverte feldspathique est d'autant plus fusible à composition égale que son grain est plus fin. Si le degré de finesse est poussé très loin la couverte pourra quelquefois couler. Avec des couvertes peu ou moyennement broyées, l'aspect est plus laiteux, plus opaque, le glacé moins parfait ; avec des couvertes trop broyées, la porcelaine a une tendance à boire l'émail, si je puis m'exprimer ainsi, et à devenir plus vitreuse ; pour des couvertes calcarifères,

un broyage trop intense donne du coque d'œuf alors qu'un grain convenable procure à la porcelaine des qualités toutes spéciales de brillant et d'éclat.

Le grain de la couverte des porcelaines, les sensations qu'elles procurent à l'amateur, tant par la vue que par le toucher, sont des côtés qui ont trop souvent été négligés par les fabricants et auxquels les artistes sont loin d'être insensibles. Si l'on considère que la porcelaine est la matière industrielle la plus fine et la plus noble, qu'elle rivalise avec les matières naturelles précieuses, il faudra, en établissant une fabrication céramique, songer avant tout à créer une matière belle en elle-même.

Quoique j'aie indiqué plus haut des formules complexes, j'ai pu me rendre compte par moi-même que les porcelaines les plus belles étaient faites avec des matières provenant du même banc géologique et qu'il était impossible d'obtenir avec des kaolins du Limousin la sensation des produits de Chine. Si les nécessités commerciales obligent à des mélanges, il faut les combiner de manière à ne pas détruire les unes par les autres les qualités natives des diverses roches. Et l'on pourra composer deux porcelaines d'analyse chimique absolument égale, dont l'une sera un bijou précieux, l'autre une matière sans valeur d'art. Aussi ne faut-il pas négliger, comme on l'a fait trop souvent, l'aspect de la matière blanche. De la beauté céramique de la pâte et de l'émail blancs dérivent toutes les autres qualités de décoration. La profondeur des couleurs et des émaux de grand feu ou de feu de moufle

est liée à la pâte ; c'est la pâte qui fera vibrer la lumière d'une façon ou d'une autre à travers les verres colorés, qui leur communiquera, après le mariage du feu, une splendeur et un éclat incomparables. Ceci est même vrai pour des objets dont la couverte superficielle est rugueuse, tant est prédominante l'influence du dessous. Et si je puis me permettre une comparaison peut-être un peu osée, je dirai que la porcelaine doit avoir les qualités de beauté de la femme ; la première impression du charme, de la jeunesse, de la fraîcheur se complète par les qualités de finesse de la peau, par l'émotion du toucher. Habillez cette charmante personne, du tissu le plus modeste, comme des vêtements les plus riches, elle sera toujours belle, et fixera plus l'attention par elle-même que par son costume. Ai-je besoin de dire qu'une personne laide, même vêtue des tissus les plus rares, couverte des plus belles pierreries, sera toujours laide si elle n'est grotesque !

CHAPITRE XII

FABRICATION DES CAZETTES ET ENCASTAGE

Pour permettre aux pièces de porcelaine de cuire sans être détériorées par les cendres des combustibles et l'action irrégulière des flammes, on les protège par des *cazettes*.

Les *cazettes*, cylindres en terre réfractaire, sont fabriquées avec des terres réfractaires qui doivent présenter des qualités spéciales. La terre doit être suffisamment infusible pour résister à l'action du feu dans le voisinage immédiat des foyers. Elle ne doit contenir ni pyrites, ni gypse, ni grains calcarifères, ni quartzites; les pyrites donnent des trous et dégagent sur les pièces voisines des vapeurs qui les colorent en bistre. Les gypses et grains calcaires se combinent à l'argile, forment des verres fusibles qui coulent sur les pièces. Les quartzites contiennent souvent de l'eau et éclatent au feu, projetant sur les pièces des grains quartzeux. Les cazettes doivent résister aux variations de température sans trop se briser, et présenter une

plasticité telle que leur fabrication soit facile. Les argiles les plus pures au point de vue chimique sont donc celles qui conviennent le mieux ; à Sèvres on emploie surtout les argiles de Dreux, de Retourneloup, de Sézanne, de Provins, seules ou mélangées; à Limoges et dans le Cher on emploie les argiles du Poitou, du Berry, du Périgord, etc.

Lorsque l'argile contient de gros éléments étrangers de quartz, de pyrites, etc., on ne l'emploie qu'après lavage, c'est-à-dire après élimination, en présence de l'eau, des corps étrangers. L'argile est additionnée en proportions raisonnées de *ciment* plus ou moins fin. Le ciment n'est autre chose que le produit du broyage des vieilles cazettes hors d'usage; pour certaines pièces de *cazetterie* intérieure appelées rondeaux, on ajoute aussi du sable d'Aumont ou de Fontainebleau. Le ciment communique, aux pâtes à cazettes, la facilité de travail et de dessiccation ainsi qu'une indéformabilité relative.

Suivant la plasticité de la terre on mélangera :

Terre.	de 40 à 60
Ciment.	de 60 à 40

(La grosseur du ciment varie avec la forme des cazettes.)

Quand il y aura lieu d'additionner du sable, on prendra l'un des mélanges suivants :

Terre.	de 40 à 60
Sable.	de 30 à 20
Ciment.	de 30 à 20

Le retrait des pâtes à cazettes varie de 10 à 15 p. 100

suivant la nature des terres. Le retrait des rondeaux est de 7 à 10 p. 100, ce retrait s'opère en grande partie avant la cuisson, pendant la dessiccation.

Le ciment est concassé soit au moyen de *tordoirs*, soit au moyen de *squeezers* déjà décrits ; ce dernier système, donnant des éclats et un grain plutôt anguleux, est préférable.

Le ciment est tamisé au degré voulu, toujours à sec. La pâte à cazettes se fait sur des aires en bois où l'on dispose des couches alternées de terre humectée à point et de ciment ; on mélange le tout à la pelle, puis on introduit le mélange dans des *malaxeurs*, cylindres en bois ou en tôle verticaux ou horizontaux ; à l'intérieur de ces cylindres se meut un axe muni de palettes hélicoïdales armées de pointes. Ces appareils, qui exigent une grande force motrice, sont continus pour des mélanges plastiques sans excès ; à Sèvres l'appareil agit d'une façon intermittente pour que le mélange soit plus parfait.

La pâte à cazettes ou à rondeaux se façonne à la main ou à la machine soit par tournage soit par moulage, soit par moulage au tour suivant les formes à obtenir. Les cazettes séchées lentement sont mises au globe du four où elles prennent leur retrait et acquièrent leurs qualités de résistance.

Encastage. — Les cazettes cylindriques ou ovales forment une enveloppe extérieure disposée de manière à recevoir les rondeaux sur lesquels sont placées les porcelaines. Les procédés d'encastage sont excessivement nombreux. Je citerai l'encastage en



FIG. 11. — Vase de la Bibliothèque nationale,
par Chéret, Sèvres, 1883.

cul-de-lampe, économique pour les assiettes; l'encastage double Régnier, utile pour une fabrication soignée de pièces plates; l'encastage à plein bord pour les tasses; l'encastage à couronne intérieure pour les compotiers élevés, etc., etc.

Ils dérivent tous du même principe, isoler la pièce aussi parfaitement que possible, en lui faisant prendre au four la place minima.

Les cazettes de même forme s'empilent les unes sur les autres, formant ainsi des cylindres qui rempliront le four; les cazettes sont séparées les unes des autres par de la *terre à lut*, mélange de terre et de sable qu'une filière transforme en *colombins*. Ce colombin, qui unit temporairement les cazettes, doit pouvoir s'enlever facilement après cuisson. Les cylindres formés de cazettes appelés *piles* ou *files* sont réunis entre eux dans le four par des fragments de cazettes ou *accots* dont la liaison aux piles s'obtient par un peu de terre à lut. Suivant la hauteur du four le nombre de ces accots varie.

Précautions d'encastage. — Pour empêcher les pièces de coller sur les rondeaux, pour permettre la cuisson de certaines pièces à boucheton, c'est-à-dire sur leur ouverture, on emploie différentes mesures de précautions.

Si la pièce cuit directement sur le rondeau, ce rondeau doit être *sablé* avec du sable de Fontainebleau calciné. Pour cela on met un peu de colle sur la partie où portera la pièce, et avant que cette colle ne soit absorbée on tamise par-dessus le sable calciné et

broyé plus ou moins finement; l'excédent s'enlève en inclinant le rondeau.

S'il y a lieu d'interposer un support entre la porcelaine et le rondeau, le rondeau sera sablé; quant au support on le couvrira au pinceau d'une couche mince d'*engommage ou de terrage* constitué soit par du kaolin et du sable siliceux par parties égales, soit par de l'alumine et du kaolin par parties égales. On se servira du même terrage pour isoler un couvercle qui cuit sur une pièce, de cette pièce, etc.

Une bonne précaution consiste à émailler avec de la couverte blanche le dessous des rondeaux pour éviter les projections de grains.

Les mêmes cazettes vont quatre, cinq ou six fois au feu; elles se fêlent ou se rompent en général après le premier feu, aussi les entoure-t-on de cordelettes qui sont enlevées lorsque les piles sont accotées.

Dans le voisinage des foyers des fours à flammes directes on dispose de cazettes plus épaisses et plus résistantes où l'on met rarement des pièces de porcelaine.

CHAPITRE XIII

CUISSON

La cuisson est une opération d'une importance extrême et doit être exactement appropriée à la nature de la porcelaine. Le porcelainier doit pouvoir obtenir dans son four l'atmosphère nécessaire pour la matière ; réductrice, neutre ou oxydante ; il doit pouvoir la modifier pendant la marche. Il doit pouvoir atteindre facilement le point de cuisson sans être exposé à le dépasser. Si j'ajoute que l'économie joue un grand rôle et que les accidents de feu sont les plus graves et les plus onéreux, j'aurai montré toute l'attention à porter à cette opération.

Il y a actuellement deux manières de faire. En Europe on dégourdit partout et on se sert de fours verticaux ; en Orient on cuit la porcelaine crue dans des fours couchés. J'étudierai successivement ces deux procédés.

A. — PORCELAINE DURE EUROPÉENNE

Les fours sont combinés de manière à obtenir, dan un laboratoire inférieur, la température élevée de 1 350° à 1 500° nécessaire pour la cuisson de la porcelaine ; dans un laboratoire supérieur ou *globe*, la température de 850° à 1 000° nécessaire pour produire le dégourdi.

Le four est construit en matériaux réfractaires ; les parois extérieures sont maintenues par des cercles et montants métalliques ; les armatures métalliques circulaires doivent être munies d'un système de clavettes permettant l'extension et la contraction du four pendant la cuisson et le refroidissement. La porte doit être disposée de façon à permettre un enfournement facile. Des *trous de montre* en nombre suffisant serviront à sortir pendant la cuisson des échantillons de la matière soumise au feu.

Les combustibles les plus variés, bois, houille, briquettes, gaz de gazogène, huile lourde, etc., peuvent être utilisés. Les fours sont à flammes directes ou à flammes renversées.

A. **Fours à flammes directes.** — Je prendrai des exemples de ces fours dans le Limousin. Ces fours, peu employés aujourd'hui, ont été les seuls en usage jusque vers 1878. Ils marchent au bois ou au charbon.

a) *Fours au bois.* — Les foyers sont constitués par des chambres de section rectangulaire appelées *alândiers;* suivant le cube du four, le nombre des alandiers augmente ; la paroi supérieure des foyers porte un

redan en briques permettant de placer le bois fin au moment du grand feu.

A Limoges les fours de ce système ont $4^{m},75$ de diamètre et $3^{m},80$ de hauteur moyenne pour le laboratoire de cuisson. Le cube est donc de 64 mètres environ. Les alandiers au nombre de cinq; le cube total des alandiers est de $2^{mc},200$. La hauteur totale de tirage du bas des foyers au sommet de la cheminée est de 12 mètres environ.

Dans ces fours on commence l'allumage en jetant des bûches sur la sole de l'alandier. Lorsque l'humidité de la cazetterie, du lut, de la porcelaine elle-même ont disparu, on active un peu la marche tout en laissant la partie inférieure de l'alandier ouverte. Cette manière de faire constitue le *petit feu*. Lorsque le four a pris une belle teinte rouge, on *couvre* le redan placé au haut du foyer de petites bûches de bois blanc et l'on bouche plus ou moins l'entrée d'air inférieure. Alors commence le *grand feu*. Le petit bois s'allume seul, grâce à la température du foyer, et la flamme pénètre directement dans le four, appelée par le tirage de cet appareil. On voit donc ainsi que l'atmosphère est réductrice ou neutre au début de la cuisson, neutre pendant le grand feu. Dans ces fours le petit feu dure de seize à dix-huit heures, le grand feu de trente à trente-six heures.

Pendant la première période du petit feu on sèche le four; l'atmosphère est alors oxydante. Pendant la deuxième période du petit feu, on augmente la quantité de bois sans modifier le tirage; l'atmosphère

devient alors réductrice ou neutre ; ceci dans le but de ramener tous les sels de fer contenus dans les pâtes et émaux à l'état de protoxyde ; sans cela la porcelaine serait teintée en jaune. Cela fait, on passe au grand feu pendant lequel l'atmosphère neutre permet d'atteindre le point de température voulue.

La quantité de bois brûlé par un de ces fours varie énormément suivant l'essence, l'âge, le degré de siccité, la grosseur de combustible, etc. Les chiffres moyens semblent se rapprocher de 90 stères par fournée soit environ $1^{st},5$ par mètre cube de four, avec des écarts en plus ou en moins de 1/10.

Sans insister sur ces appareils un peu surannés, je constaterai que la température obtenue est irrégulière ; très forte au droit des foyers, faible au sommet des piles, etc. ; de plus, l'atmosphère est irrégulière ; si la couverte glace bien aux endroits où la flamme circule, il n'en est pas de même dans les intervalles des foyers appelés *flancs*, où la couverte est souvent bulleuse et grésillée. La chaleur est souvent si intense au droit des foyers que les piles se *coupent* à leur base, entraînant des accidents graves. La dépense en combustible est considérable. Les globes donnent d'excellents dégourdis ; on n'y encaste que les objets délicats ou risquant la fente, laissant les autres objets au contact de la flamme.

b) *Fours au charbon.* — Si l'on construit un four de $4^m,75$ de diamètre et $3^m,80$ de hauteur, cubant environ 64 mètres comme le précédent, à l'effet de marcher à la houille, il faudra un plus grand nombre d'alandiers

ou foyers ; on en compte généralement six pour cette dimension. La surface de chauffe totale des six foyers est de 3 mètres carrés. La hauteur totale de tirage de 14 à 15 mètres. Divers systèmes de grilles ont été

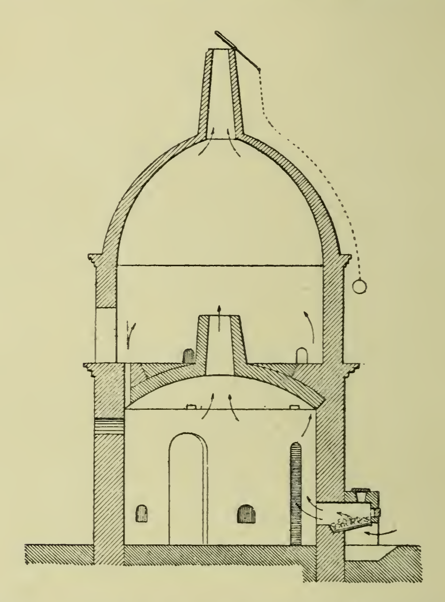


Fig. 12. — Coupe sur un four au charbon à flamme directe.

proposés, mais c'est encore la grille simple à barreaux carrés, disposés en plan oblique, qui donne les meilleurs résultats.

Les sections des cheminées et carneaux intérieurs sont différents de ce qui a lieu dans le four au bois ; en général, c'est la nature du combustible, sa richesse

en gaz, qui déterminent ces sections variables d'un fabricant à l'autre.

On commence par mener le feu très lentement ; il se produit généralement beaucoup de fumée pendant la première période. Les charges sont espacées d'abord de 30 en 30 minutes, puis de 20 en 20 minutes et de 15 en 15 minutes. On arrive ainsi à 24 heures de chauffe qui correspondent à peu près au petit feu.

A partir de ce moment on rapproche insensiblement les charges de 10 en 10 minutes, de 7 minutes et demie en 7 minutes et demie, enfin de 5 en 5 minutes, en ayant soin de décrasser constamment, d'enlever les scories et mâchefers qui pourraient empêcher l'air de brûler régulièrement le combustible.

La durée totale de la cuisson est de 40 à 48 heures.

Un tel four brûlera environ 16 tonnes de charbon avec écart de 1/10 en plus ou moins suivant la nature de l'enfournement, celle du combustible, l'état de l'atmosphère.

On s'efforce d'obtenir le séchage pendant les 12 premières heures, la réduction pendant les 12 suivantes, une atmosphère plus oxydante pendant la période finale.

Le combustible employé à Sèvres est une houille de Greensby (Angleterre) très riche en gaz, peu riche en cendres. Dans le Berry et le Limousin, on se sert soit de houilles anglaises à flamme moyenne, soit de produits français, charbons ou briquettes de Commentry, de Cransac (Aveyron), de Champagnac, d'Ahun (Creuse), etc.

Il faut éviter des combustibles trop sulfureux et trop riches en coke; une houille à trop longue flamme est nuisible égalément.

Les fours au charbon donnent de 8 à 12 p. 100 d'économie, par rapport aux précédents. Comme dans tous les fours à flammes directes, la température est irrégulière, les inconvénients signalés à propos du bois subsistent entiers.

Il est nécessaire d'encaster les pièces crues que l'on fait passer au globe de ces fours.

B. **Fours à flammes renversées**. — Ces fours sont basés sur le principe suivant : la flamme pénètre dans le four par des ouvertures latérales et monte jusqu'à la voûte ; mais cette voûte étant bouchée, la flamme est obligée de redescendre jusqu'à la sole où des carneaux sont disposés conduisant la flamme par les parois des fours jusqu'au globe. Il en résulte : 1° que les flammes n'étant plus aspirées directement par la cheminée ont un contact plus long avec la matière à chauffer; 2° que grâce à cette durée de contact la combustion se fait plus complètement et plus également, que, par suite, il y a presque égalité de température dans tout le four; 3° que le débouchement des flammes étant assez haut placé dans le four, la stabilité des piles n'est plus compromise; 4° que l'économie résultant du chauffage et de la plus-value des produits est notable.

a) *Fours au bois*. — Je prendrai comme type un four à flamme renversée et à chemise intérieure qui a été établi à Sèvres sur mes plans vers 1882.

Les foyers ou alandiers sont ceux des fours à flammes directes.

Les flammes viennent battre dans l'intérieur du four contre une murette circulaire ayant, suivant la nature de la porcelaine à cuire, des 2/3 aux 3/4 de la hauteur moyenne du four; de là, elles sont aspirées par trois carneaux situés dans la sole du four et communiquant à trois cheminées placées dans les murs conduisant les flammes au globe. Chaque cheminée est munie d'un registre régulateur.

Le four construit à Sèvres sert à cuire de la porcelaine nouvelle, il donne normalement une atmosphère très oxydante; la température atteinte étant d'environ 100° C. inférieure à celle nécessaire pour les autres porcelaines, les chiffres que je donne ne sont pas comparables aux précédents.

Pour un four de $2^m,90$ de diamètre et $3^m,30$ de hauteur cubant 21 mètres effectifs, il faut compter par la chemise intérieure une perte à l'enfournement de $5^{mc},5$ soit de 25 p. 100. Le cube enfourné est de 15,5. Le cube des trois foyers est de $2^m,25$ environ. La hauteur totale de tirage est de $13^m,50$. La dépense en combustible pour atteindre 1 350° est d'environ 0 fr. 90 par mètre cube enfourné. La cuisson entière se fait en petit feu.

Ce genre de four, construit spécialement pour la cuisson d'une porcelaine à basse température dans une atmosphère très oxydante, ne saurait convenir à une fabrication régulière de porcelaine dure; d'abord, la place perdue est grande; de plus, la chemise inté-

rieure de $0^{m},11$ d'épaisseur, distante de $0^{m},11$ des parois, n'est pas une base bien solide pour accoter

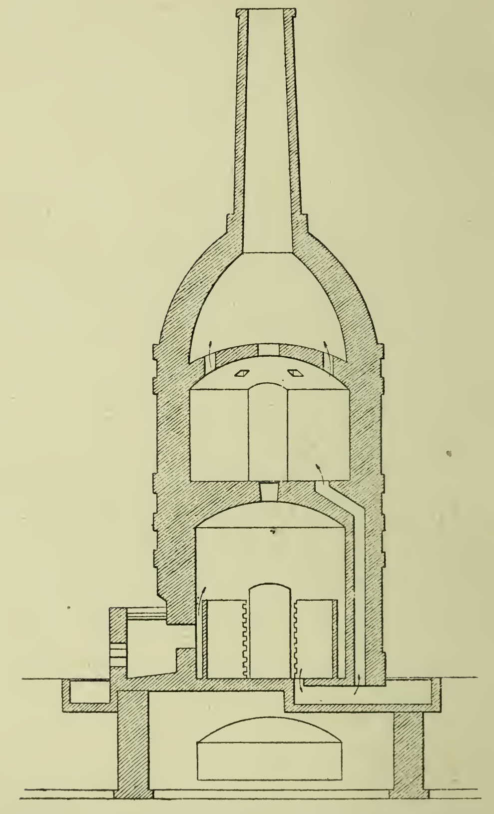


Fig. 13. — Coupe sur un four au bois à flammes renversées.

et ne saurait résister à un choc prolongé de la flamme.

Le globe est naturellement très peu cuit dans ces fours.

J'ai indiqué cet exemple pour bien montrer au lec-

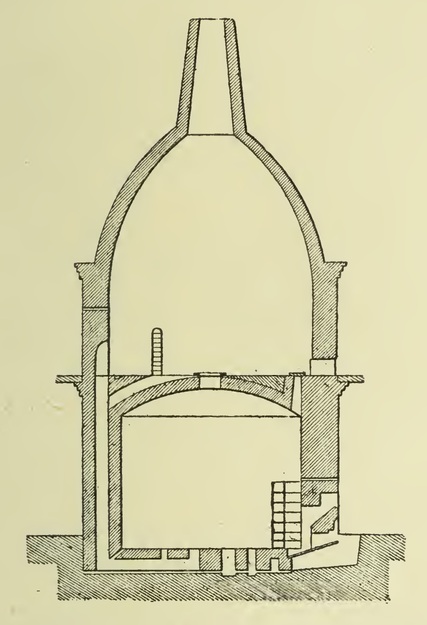


Fig. 14. — Coupe sur un four au charbon à flammes renversées.

teur combien la forme du four varie suivant le produit à obtenir.

b) *Fours au charbon*. — Je prendrai comme type le système anglais Minton, si habilement approprié à la porcelaine dure par MM. Haviland de Limoges.

Le foyer établi dans l'intérieur du mur constitue

plutôt un gazogène qu'un foyer à proprement parler.

Les flammes viennent à la sortie de ces foyers battre contre des groupes de piles disposés de manière à amener la flamme à déboucher vers le haut du four. Le renversement et la circulation des flammes de retour dans les murs sont établis comme dans le système au bois. Un tampon placé entre les deux chambres permet à la fin du feu de conduire au globe les produits de la combustion et de finir de cuire le dégourdi.

Ces fours, pour le cube type, d'environ 64 mètres, que j'ai décrit pour les fours à flamme directe, brûleront de 12 à 14 tonnes de combustible, houille ou briquette. On peut compter sur une économie de 7 à 9 p. 100 par rapport au four au charbon à flamme directe. Mais la qualité la plus importante de ce four est que, lorsque l'enfournement est bien disposé, la flamme circule partout; les flancs, endroit où la flamme dort, n'existent plus et il en résulte une grande régularité de température et d'atmosphère. Les choix sont plus abondants, les rebuts moins nombreux, choses qu'il est difficile de traduire par un pourcentage.

Le foyer gazogène de ces fours se conduit à peu près au désir du chauffeur; on obtient facilement l'atmosphère voulue. J'ajouterai que le tirage de ces fours nécessite environ 1 mètre de plus de cheminée que les fours directs. La disposition ingénieuse des carneaux du globe permet de finir le globe sans surchauffer les pièces de porcelaine[1].

1. *Brevet Haviland* du 11 septembre 1878.

Bien d'autres systèmes de fours ou de foyers ont été proposés ou étudiés, mais ils ne présentent pas la sécurité de ceux que j'ai décrits et qui sont les plus pratiques, ceux que l'on peut confier le plus facilement à un chauffeur.

Le but à atteindre est complexe, car il faut dans un cube assez considérable (de 20 à 100 m. c.) obtenir une température très élevée avec l'atmosphère convenable.

CONDUITE DU FEU

Pour obtenir l'atmosphère voulue, on peut agir d'un grand nombre de manières : 1° en variant la force du tirage, ce qui allonge ou diminue la longueur de la flamme qui, comme on le sait, présente des espaces oxydants, neutres ou réducteurs ; cette manière de faire présente des dangers ; il faut veiller à ce que le point chaud soit dans le four et non dans le foyer ou au globe comme cela a lieu quelquefois ; 2° en variant la quantité d'air qui brûle le combustible ou en introduisant de l'air dans le four ; 3° en faisant varier la quantité de combustible en maintenant les rentrées d'air au même point.

Comme l'on sait aujourd'hui d'une façon certaine qu'il faut de la flamme et de la flamme circulante pour faire de la porcelaine bien glacée, que l'on a constaté qu'il fallait serrer le plus possible les piles, tant au point de vue de la stabilité que pour éviter la stagnation des gaz, le porcelainier choisira un combustible bien approprié pour lui donner la longueur de

flamme nécessaire. On prendra donc des bois comme le hêtre, le bouleau, etc., pour cuire la porcelaine dure, du chêne pelard pour cuire des porcelaines genre chinois au feu oxydant, des combustibles à longue flamme ou à flamme moyenne, aussi peu sulfureux que possible, pour les fours au charbon.

Les analyses des gaz faites pendant la durée de la cuisson, au moyen des appareils Orsat ou d'autres analogues, ne m'ont jamais donné des résultats bien scientifiques. Ce que l'on peut constater de plus certain, c'est qu'en atmosphère réductrice on trouve des hydrocarbures, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique, peu d'oxygène et beaucoup d'azote; en atmosphère neutre, de l'acide carbonique et de l'azote; en atmosphère oxydante, de l'oxygène, de l'acide carbonique et de l'azote. D'un point du four à un autre très voisin, les chiffres sont fort différents.

L'œil renseigne d'habitude le céramiste expérimenté. La mesure des températures élevées l'intéresse à un haut degré. Je passerai sous silence les procédés de mesure abandonnés après expériences suivies, tels que le pyromètre de Wedgwood, les pyromètres électriques qui ne donnent de bons résultats que jusque vers 1 100° C., les thermomètres à air, les lunettes pyroscopiques dont les indications varient pour une même température lorsque l'atmosphère du four est claire ou chargée de fumées.

Les seuls pyromètres utilisables sont celui des frères Boulier, à circulation d'eau, et surtout les montres fusibles.

Le pyromètre Boulier est basé sur l'élévation de température d'un filet d'eau circulant très rapidement à travers un tube en cuivre de longueur et d'épaisseur constantes. Il est indispensable que la température initiale et la pression de l'eau soient toujours identiques. Ce pyromètre, d'une installation complexe, m'a servi à déterminer une échelle de graduation basée sur la fusion des métaux. Grâce à ce moyen[1], j'ai pu établir que le point de cuisson de la porcelaine dure de Sèvres correspondait à la fusion d'un alliage de 40 parties d'or et de 60 parties de platine, soit à 1 460° C.; ce point est dépassé dans le voisinage des foyers des fours, où l'alliage de 30 parties d'or et de 70 parties de platine commence à s'agglomérer; cet alliage fondant à 1 535° C., j'évalue la température maxima des fours à porcelaine dure de Sèvres à 1 500° C.; pour la porcelaine nouvelle ou chinoise, en procédant de même, j'ai constaté une température maxima de 1 385° C., minima de 1 320° C. Je ne donne pas ici l'échelle de graduation de ce pyromètre qui est parabolique et qu'il faut établir pour chaque pyromètre.

Ces premiers renseignements ont été confirmés lors de l'emploi, qui a été fait à peu près en même temps à Sèvres et à la manufacture royale de Charlottenbourg, de montres fusibles. Si l'on moule des objets composés de feldspath orthose, de craie, de quartz pur, de kaolin pur, d'oxyde de fer, éléments parfaite-

1. *Génie civil*, tome X, p. 783 et suivantes.

ment définis, rendus plastiques par l'addition d'un peu de gomme adragante, ces objets auront, suivant la proportion de ces éléments, une fusibilité différente.

On donne d'habitude à ces objets la forme pyramidale triangulaire de 5 à 6 centimètres de haut. Ces pyroscopes, en se fondant, prennent successivement les formes caractéristiques ci-dessous, que l'on finit par distinguer assez facilement avec un peu d'habitude dans le feu le plus vif.

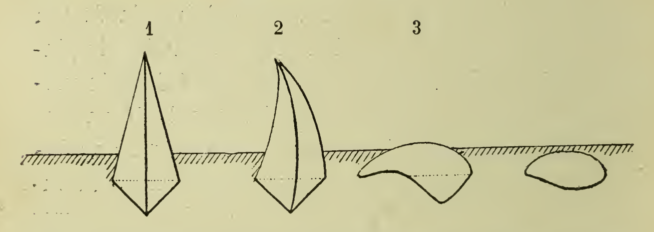


Fig. 15. — Formes successives prises par les montres fusibles en fondant.

On les compose en éléments secs à 110° C., d'après les indications du tableau de la page 153.

On dispose par exemple, pour une cuisson de porcelaine dure, les montres n°s 9, 10 et 11 dans un étui où sont placés les témoins en porcelaine; lorsque le n° 9 sera fondu, le n° 10 sera dans la position 3 (voir fig. 15); le n° 11 dans la position 1 ou 2.

J'ai contrôlé à Sèvres les points de fusion, mesurés avec le pyromètre Boulier, avec ceux des montres fusibles et des alliages de métaux précieux. C'est de cet ensemble de mesures que dérivent les chiffres du tableau ci-contre.

Composition des montres fusibles.

	NUMÉROS.														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Feldspath.	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55	83,55
Marbre.	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Quartz	66,00	60,00	57,00	54,00	84,00	108,00	132,00	156,00	180,00	204,00	252,00	300,00	348,00	396,00	468,00
Peroxyde de fer. . .	16,00	8,00	4,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Kaolin	»	12,95	19,43	25,90	25,90	38,80	51,80	64,80	77,70	90,60	116,50	142,50	168,50	194,25	233,10
Point de fusion. . .	1150°	1179°	1208°	1237°	1266°	1295°	1323°	1352°	1381°	1410°	1439°	1468°	1497°	1526°	1555°
						Cuisson de la pâte tendre du XVIII[e] s.	Cuisson des faïences fines.		Cuisson des porcelaines orientales.		Cuisson des porcelaines dures de Limoges et du Berry.		Cuisson de la porcelaine dure à Sèvres.		

Ces montres fusibles, peu encombrantes, faciles à fabriquer, rendent de grands services pour arrêter le feu et régler chaque foyer, de manière que la même température soit atteinte partout. Elles ne dispensent pas de se servir de *montres* ou *témoins* en porcelaine qui renseignent le fabricant sur le degré de glacé de l'émail et la nature du feu. L'ensemble des montres fusibles et des montres rend toute surprise impossible.

Quand le feu est arrêté, le chauffeur bouche avec soin toutes les ouvertures des foyers et du four avec de la terre franche, et on laisse, avant de l'ouvrir, le fourneau se refroidir plus ou moins lentement, pendant 3 à 4 jours dans l'industrie, pendant 6 à 8 jours à Sèvres.

FOURS D'ESSAIS

Le porcelainier soucieux d'améliorer sa fabrication serait exposé à attendre souvent longtemps le résultat d'un essai s'il se servait de ses grands fours pour expérimenter les couleurs, les pâtes, les couvertes, les terres à cazettes ; pour pouvoir répéter souvent ses expériences, pour que les résultats ne soient pas trop espacés, un appareil spécial servira à cuire les essais.

Le four au gaz d'éclairage système Perrot, le four aux huiles lourdes imaginé par Sainte-Claire Deville, cuisant en quelques heures, et dont le refroidissement est rapide, permettent de varier les essais et de se renseigner vite et bien.

On préfère aujourd'hui le fourneau intensif du pro-

fesseur Seger, directeur de la manufacture de Berlin.

L'appareil représenté (fig. 16) est destiné aux opérations céramiques d'essais à haute température. Il se compose essentiellement d'un cylindre en terre réfractaire C D (fig. 17) fortement serré dans une tôle

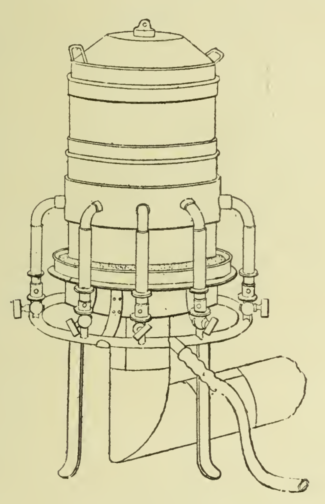


Fig. 16. — Vue du four Seger.

d'acier et fermé en haut par un couvercle en forme de coupole qui repose sur une couche de sable et présente un regard destiné à observer la flamme. La partie inférieure D est conique et s'appuie sur un support K garni de sable; l'obturation est aussi complète que possible.

Le cylindre est percé latéralement d'une série d'ouvertures de formes spéciales destinées à laisser péné-

trer le gaz provenant de becs Bunsen B disposés sur une rampe circulaire A.

La partie inférieure du cylindre supporte un cône évidé en terre réfractaire E. Ce cône se continue par

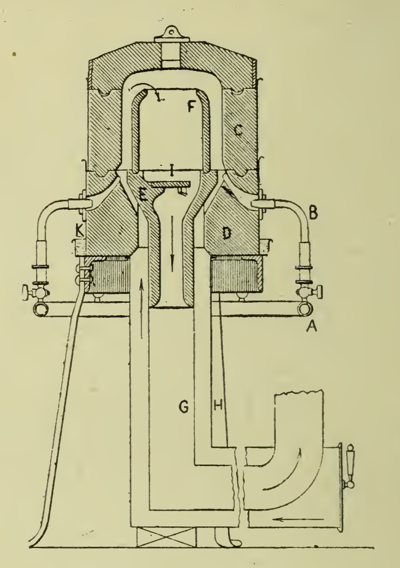


Fig. 17. — Coupe du four Seger.

un tuyau de tôle G deux fois recourbé à angle droit; ce dernier est destiné à conduire à la cheminée les gaz de la combustion. Autour de ce tuyau de tôle, on en dispose un autre H, plus large,qui l'enveloppe sur une grande longueur; cette longueur peut dépendre de la place dont on dispose, ce tuyau amène l'air destiné à la combustion, en le réchauffant au contact de la paroi

du conduit central. La récupération peut même se faire dans une sorte de poêle à côté du fourneau. L'extrémité froide du récupérateur peut être ouverte ou fermée au moyen d'une virole, l'autre extrémité aboutit au-dessous du cylindre et se fixe au support annulaire.

Le cône mobile et évidé supporte une cazette cylin-

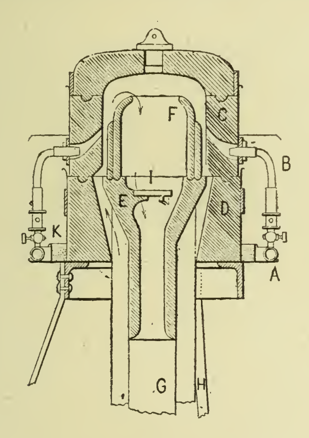


Fig. 18. — Coupe du four Seger.

drique qui s'élève jusqu'à une distance de quelques centimètres au-dessous du couvercle et dans laquelle seront placés les objets destinés à être chauffés. Entre ce cône et la paroi intérieure du cylindre sont ménagées des ouvertures aboutissant juste au-dessous de celles qui correspondent aux becs Bunsen pour amener l'air extérieur ayant passé dans le récupérateur.

Le four doit être adapté à une cheminée pourvue

d'un fort tirage. Il s'allume comme le four Perrot et permet d'obtenir à volonté une atmosphère oxydante ou réductrice. L'opérateur a toujours tendance à laisser pénétrer trop de gaz dont la combustion est incomplète; il faut réduire la consommation pour obtenir le maximum de température correspondant au maximum d'économie.

Pour chauffer en flamme oxydante, on brûle le moins de gaz possible en laissant ouvertes les viroles des becs Bunsen et l'extrémité du récupérateur; une fois le rouge atteint, la flamme est invisible. Si l'on veut obtenir un mélange réducteur, on aura avantage à fermer un peu les viroles des Bunsen en laissant pénétrer tout l'air du récupérateur. On peut évaluer à 600° au moins la température de l'air au moment où il pénètre dans le four. En bonne marche, on ne doit entendre aucun ronflement.

Dans ce four à récupération, on ne réchauffe pas le gaz combustible qui aurait une trop faible densité, mais on cherche à élever le plus possible la température du gaz comburant.

L'expérience a montré qu'il présente sur tous les autres fours de laboratoire une économie réelle qui est en moyenne de 35 p. 100, avec obtention de températures beaucoup plus élevées.

B. — PORCELAINE CHINOISE

Les seuls renseignements sur les fours de la Chine que nous possédions en Europe nous ont été fournis

par les traductions des ouvrages suivants : *Thien-Kong-Khaï-Wou* (1637), ou *Manuel de l'industrie chinoise ; Feou-liang-hien-tchi* (1325), ou *Étude de la région de Feou-liang* (où se trouve King-te-tchin, qui est à la fois le Sèvres et le Limoges de la Chine) ; *Thaotching* (1745), ou *Administration de la porcelaine impériale ; Thao-choue* ou *Dissertations sur la céramique* (1750) [1]. Le Père Ly et M. Scherzer, consul de France à Han-Keou, ont fourni également au musée de Sèvres des indications précieuses. Je résume aussi succinctement que possible la technique chinoise ; chose fort difficile, car certains fours servent pour une seule fabrication, d'autres servent à des produits très variés comme fusibilité de pâte, et comme nature d'émaux.

Le four chinois est un four couché, sorte de four à réverbère, du genre de ceux dont on s'est servi en Allemagne au XVIIIe siècle ; le foyer est dans le four même, et le combustible employé le bois de pin. D'après le P. d'Entrecolles, la hauteur est de 3^{m},50, la longueur de 7 mètres, la largeur de 1^{m},75, ce qui correspond à un cube de 36 m. c., en tenant compte des places perdues par les voûtes et le foyer.

D'après M. Scherzer, la hauteur est de 5 mètres, la longueur de 10 mètres, la largeur de 3^{m}50 ; le cube utile est d'environ 168 mètres. La différence des relations empêche de se rendre compte des règles générales usitées pour la fabrication de la porcelaine

1. Voir P. d'Entrecolles. *Les lettres édifiantes*. Recueil XII, p. 232-365. Paris, 1717, et tome XIX, p. 173-203. Paris, 1781. — Stanislas Julien. *Hist. de la porcelaine de Chine*. Paris, 1856.

en Chine. Ce que l'on peut dire à coup sûr, c'est que pour de tels fours allongés, où le foyer est au contact des premières piles de cazettes, l'irrégularité est la règle; irrégularité de température allant du foyer à la cheminée; irrégularité d'atmosphère suivant la zone; irrégularité en hauteur, en largeur, en longueur. Les Chinois, céramistes patients et habiles, ont su tirer parti de ces défauts; ici, ils cuiront des pièces à pâte et à couverte plus dure ou plus tendre, là des flambés ou des céladons; en certains endroits, la porcelaine fine. L'examen des produits montre que jamais la première période de la cuisson n'est oxydante, la couleur de la pâte, la nature des émaux, prouvent incontestablement ce fait important pour le céramiste.

Les Chinois emploient les mêmes précautions d'encastage et d'enfournement que les Européens; ils jugent le feu un peu à l'œil, beaucoup d'après les échantillons tirés. Il est merveilleux qu'avec des appareils aussi primitifs ils aient pu obtenir, il y a fort longtemps, des pièces aussi belles que celles que nous admirons dans les musées et les collections, et qui sont certainement le dernier mot de la porcelaine. Il est à souhaiter que des voyageurs instruits des choses de la céramique puissent enfin pénétrer à Kinte-tchin, pour nous fixer définitivement sur la construction des fours et les détails techniques encore vagues de la production de certains produits.

DES FOURS A GAZ

Dans tous les fours que j'ai étudiés ici, il est difficile de faire varier l'atmosphère, d'utiliser industriellement le combustible. La verrerie, la cristallerie, l'industrie des grès, la métallurgie, sont dotées depuis assez longtemps de fours à gaz. Dans ces fours, le combustible, lignite, tourbe, coke, houille, etc., est transformé dans le gazomètre en un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures. Ces gaz allumés avec de l'air chauffé au contact de la matière à transformer, donnent facilement la température, mais surtout l'atmosphère voulue, ce qui est d'une importance capitale en céramique. Divers essais ont été tentés, pour la porcelaine : par M. Boistel, avec le four Siemens à régénérateur; avec le système Hoffmann transformé par Schwandorf, etc. ; mais ils n'ont pas été suivis à cause des dépenses qu'ils occasionnaient.

La question du gazogène à appliquer à la porcelaine semble aujourd'hui résolue, après les résultats obtenus dans la fabrication des grès ; ce qui manque pour décider l'industrie porcelainière à adopter cette manière économique de faire, c'est qu'un fabricant plus audacieux que les autres ait essuyé les plâtres, si je puis m'exprimer ainsi.

En effet, la construction d'un de ces appareils à 18 ou 24 chambres, de 20 à 30 mètres cubes chacune, avec gazogènes, récupérateurs, etc., représente une dépense d'installation considérable. De plus, les masses

de porcelaines qui seront certainement sacrifiées pendant les essais, le combustible et le personnel nécessaire pour de telles recherches ne sont pas des quantités négligeables. Le résultat se traduira par une économie presque certaine de 20 à 30 p. 100 du combustible, et par une continuité dans la fabrication.

La manufacture de Sèvres, qui s'est laissé distancer par Limoges dans l'installation des fours à flamme renversée, ne pourrait-elle pas rendre à l'industrie française le service inappréciable de la doter d'appareils si précieux? Ses vastes emplacements, sa riche dotation, son caractère d'établissement de l'État, la désignent à des études de ce genre, qui seraient profitables à tous.

CHAPITRE XIV

DÉFOURNEMENT

Lorsque le four est froid, la porte est ouverte, et le porcelainier vient juger le produit de son travail et de son art. Les ouvriers enlèvent une à une les cazettes, en sortent les porcelaines, pendant que chacun, artiste, tourneur, émailleur, vient se rendre compte du résultat. Quoique les livres écrits sur la céramique empruntent presque toujours un caractère scientifique, la fabrication de la porcelaine est loin d'être une science, c'est un art, et un art des plus nobles et des plus difficiles. C'est que le grand maître, le feu, est loin d'être dompté! Souvent il détruit toute la peine d'un mois, le travail patient de l'artiste ou de l'ouvrier, dépouillant les couleurs, desséchant l'émail, fêlant la pièce! Mais quelle joie, quand la couverte est limpide, la forme intacte, le décor harmonieux! Les émotions que procure le défournement sont de celles qui ne s'oublient pas, et qui attachent le porcelainier à son difficile métier.

Les défauts de la porcelaine sont nombreux. Une pâte trop réfractaire fait tressailler la pièce, qui reste opaque; une pâte trop fusible entraîne la déformation; les moindres défauts du tournage ou du moulage apparaissent au feu d'une façon désagréable; une épaisseur trop faible ou irrégulière déforme, gauchit la porcelaine. L'émail trop épais empâte les détails et les finesses de sculpture, rend la porcelaine lourde et désagréable, quand la pièce ne rompt pas au feu; l'émaillage trop mince donne des porcelaines peu glacées, sèches, sans valeur céramique. Suivant l'atmosphère du four ou du globe, on aura tantôt une teinte ambrée, tantôt blanche, tantôt verdâtre. Enfin, le feu donnera à l'émail une limpidité parfaite ou un glacé défectueux, irrégulier, coque d'œuf ou bulleux. Pendant la cuisson, des fragments de sable ou de cazettes auront pu souiller la porcelaine de *grains* plus ou moins gros et rugueux. Si ce feu est conduit d'une façon trop vive au moment où l'émail commence à glacer, à se fondre, la pâte, cuisant après l'émail, se bouillonne, se boursoufle. A cette nomenclature trop longue il faut ajouter les défauts des couleurs de grand feu, leurs variations de couleur, de glacé, de fluidité; pour des fours à flammes directes, les piles s'écroulent souvent sous l'action d'un feu trop vif, ou à cause d'une mauvaise disposition des cazettes, entraînant les piles voisines, causant des désastres très graves.

Certains défauts n'empêchent pas la porcelaine d'être utilisée; grâce au tour du lapidaire, les grains

sont enlevés, les pieds des pièces et les bords des tasses sont polis. La place où se trouvait le grain sera presque toujours masquée par un décor ultérieur. On a répété souvent, avec raison, que la décoration des céramiques européennes avait eu pour point de départ la nécessité de cacher des défauts qui rendaient des pièces invendables.

Certains défauts déprécient les pièces et les font classer en choix inférieur. Les défauts graves font rebuter les porcelaines. On compte que pour des porcelaines soignées les *choix* sont de 45 p. 100 ; les *seconds choix* ou *grains* de 20 p. 100 ; les *inférieurs* de 25 p. 100 ; les *rebuts* de 10 p. 100. Pour des porcelaines plus grossières, on compte 60 p. 100 de choix, 30 p. 100 d'inférieur, et 10 p. 100 de rebuts.

CHAPITRE XV

DÉCORATION DE LA PORCELAINE

La porcelaine se décore de tant de manières, à tant de feux différents, que pour donner au lecteur une idée des procédés de décoration et de peinture, je suis obligé de suivre, pour éviter les redites, une méthode rigoureuse. Avant de suivre l'ordre de fabrication, j'étudierai quelques matières colorantes utiles dans les arts céramiques ; ensuite j'adopterai la classification suivante.

DÉCORS DE GRAND FEU

a) Décors sous la couverte.	α. Couleurs sous couverte. β. Engobes. γ. Pâtes colorées. δ. Pâtes teintées.
b) Décors par la couverte.	ε. Couvertes colorées.
c) Décors sur la couverte.	ζ. Par couvertes colorées. η. Par pâtes sur couvertes.

DÉCORS AU FEU DE MOUFLE

d) Décors sur biscuit.	θ. Fonds d'émail.
e) Décors sur couverte.	ϰ. Peinture avec des couleurs. λ. Peinture avec des émaux. μ. Dorures et lustres.

MATIÈRES COLORANTES

J'insisterai peu sur les produits chimiques employés dans les couleurs céramiques; la plupart de ces matières sont bien définies et présentent une grande constance. Tels sont les oxydes de chrome, de manganèse, d'urane, de zinc, d'antimoine, de cuivre, d'étain, d'iridium, les chromates artificiels de fer, de baryte, de plomb, le chlorure d'argent; les sables, feldspaths, borax, minium utilisés pour les fondants.

Il n'en est pas de même d'autres produits et notamment des oxydes de cobalt, du pourpre de Cassius et des sels de fer qui présentent des différences considérables d'un producteur à l'autre, d'une qualité à l'autre.

Oxydes de cobalt. — Le cobalt se trouve dans divers gîtes[1]; on le trouve à l'état natif, à l'état sulfuré CoS, (teneur 64,72 p. 100 de CoO), à l'état arsenié $CoAs^2$, Co, $NiAs^2$ (teneur de 10 à 28,2 p. 100 CoO), à l'état d'arsénio-sulfure CoS,AS (teneur 35,5 p. 100 CoO).

On rencontre aussi des minerais oxydés Co^5O^7 (teneur 57,3 p. 100 de CoO) et $Co^3(AsO^4)^2 + HO$ (contenant 29,5 p. 100 de CoO). Ces minerais purs sont mêlés aux gangues les plus variées : roches feldspathiques, micacées, serpentineuses, argileuses, calcaires, etc.; aussi rencontre-t-on fréquemment le cobalt associé

1. Ouvrages consultés : *Neues Jahrbuch f. Mineral.*, 1869, p. 290; 1871, p. 315. — Muller (*Berg. u. H. Zeitung*), 1866. — J. Despecher, *Rapport sur les mines de Gistain*, 1878. — Mallet, *On Cobaltite and Danaite from Rajputana.* Calcutta, 1881.

aux métaux de la même famille, nickel, fer, manganèse, etc.

Jusque dans ces temps derniers le cobalt était tiré à grand'peine de minerais fort complexes de Saxe et de Norvège dont la richesse est minime. Le prix de ce colorant était assez élevé, de 50 à 80 francs le kilogramme. La découverte des minerais de la Nouvelle-Calédonie (en 1876) dont la teneur est de 3 à 5 p. 100, a fait tomber ces prix à 20 et même à 15 francs le kilogramme [1]. On rencontre ce minerai associé au manganèse dans des poches argileuses ; après triage à la main, la teneur est de 3 à 5 p. 100, l'exploitation en est très facile. Ce minerai contient : $Fe^2O^3 = 14,5$, $Al^2O^3 = 27,5$, $MnO = 13,65$, $CoO = 4,5$, $NiO = 2,7$. Ce minerai est traité à Rouen aux usines Malétra [2].

Dans quelques manufactures et notamment à Sèvres on traite le minerai et on enlève le nickel, le fer, le manganèse et l'arsenic, soit par le traitement au carbonate de potasse décrit par Salvétat dans ses leçons de chimie céramique, soit par le traitement au nitrite

1. Voir PELATAN, *Génie civil*, 1891. — GARNIER, *Les Gisements de la Nouvelle-Calédonie* (*Annales des mines*, *Bulletin de l'industrie minérale, Société des Ingénieurs civils*, *etc.*).

2. On dissout le minerai par l'acide chlorhydrique, on précipite le sulfure de cobalt en employant une quantité insuffisante de sulfure alcalin, de façon à ne pas précipiter le manganèse. Le sulfure de cobalt mêlé à un peu de sulfure de nickel, sont transformés en sulfates par un grillage à l'air; ils sont redissous et précipités par du carbonate de soude. Le précipité est desséché et suroxydé par un courant d'air; repris dans cet état par un acide étendu, le nickel seul sera redissous (procédé Herrenschmidt et Capelle).

de potasse qui donne des oxydes chimiquement purs.

On rencontre dans le commerce diverses sortes d'oxydes de cobalt dont le prix varie suivant la richesse en cobalt, l'absence de nickel, d'arsenic, etc. Les cobalts de Saxe se vendent avec les désignations suivantes tirées du Traité de céramique de Schumacher[1]. Le tableau ci-dessous donne les indications de qualité et de dosage en nickel et en cobalt.

Cobalt de Saxe.

MARQUES.	NATURE CHIMIQUE.	COULEUR.	CoO p. 100.	NiO p. 100.
R.K.O. .	Peroxyde de cobalt.	Noire.	86,4	6,0
F.K.O. .	—	Noire.	95	5,0
F.F.K.O.	—	Noire.	95,4	0,5
G.K.O. .	—	Noire.	95,4	2,5
P.O . . .	—	Noire.	85,5	7,5
K.O.H.	Hydro-carbonate de cobalt.	Bleutée rosâtre.	54,6	5,5
P.K.O. .	Hydro-phosphate de cobalt.	Rose vif lilacé.	40,7	2,0
A.K.O. .	Hydro-arséniate de cobalt.	Rouge.	36-30	3,5

Les cobalts anglais correspondent à peu près aux R. K. O. et F. F. Ko. des Saxons.

Les Chinois se servent de minerais cobaltifères riches en manganèse. La proportion relative des deux oxydes varie de 2 CoO pour 4 MnO, à 2 CoO pour

1. Schumacher, *Die Keramischen Thonfabrikate.* Weimar, 1884.

10 MnO. Aussi les tons de bleus des Chinois sont-ils très variés. Les Chinois n'enrichissent les minerais que jusqu'à la teneur de 5,5 à 6 p. 100 de CoO. Les matières étrangères et notamment le fer chromé et titané communiquent souvent à ces minerais des tons particuliers.

Pourpre de Cassius. — Ce composé d'or métallique, d'étain et d'oxygène n'est pas encore défini à l'heure qu'il est. On peut le préparer de diverses manières. Si l'on ajoute du chlorure stanneux et stannique à une solution de trichlorure d'or, on obtient un précipité d'un beau pourpre.

On peut aussi dissoudre l'or dans l'eau régale, évaporer à sec et dissoudre le résidu dans de l'eau pure; on ajoute de la grenaille d'étain ; le liquide se trouble, et finit par laisser déposer un précipité pourpre.

Les analyses de divers pourpres que Brongniart donne dans son Traité des arts céramiques indiquent une variation dans la teneur en or de 19 à 79 p. 100.

Voici une formule qui m'a donné toujours de bons résultats :

On prépare une solution d'or avec :

Or pur	$1^{gr},5$
Acide chlorhydrique	$3^{gr},5$
Acide nitrique	$3^{gr},5$

Une solution d'étain avec :

Étain pur	15 gr.
Acide nitrique	10 gr.
Acide chlorhydrique	11 gr.
Eau	25 gr.

Lorsque la dissolution est complète, on prend une bassine en grès, ou mieux en porcelaine, contenant 4 litres d'eau froide bien pure. On y verse la solution d'étain et on agite avec une baguette de verre ; puis on verse la solution d'or et on agite une demi-heure ; on laisse alors reposer, et il se dépose un précipité pourpre que l'on lave plusieurs fois à grande eau.

Il est probable que le pourpre de Cassius n'est autre chose que de l'or métallique excessivement divisé.

Cette matière est généralement fabriquée en Angleterre d'où l'on expédie le pourpre de Cassius en tous pays et notamment en France.

Oxydes de fer. — On obtient au moyen du peroxyde de fer les tons les plus variés; quelques terres de Sienne ou d'ombre sont employées, il en est de même de la pierre de Thiviers ; mais la coloration n'est pas fixe ; il vaut mieux pour des colorations définies préparer les oxydes de fer. En calcinant le sulfate de fer au moufle et en observant la couleur, orangé, jaune, rouge, carminé, violet, qui se produit, on obtient la couleur correspondante à l'emploi. Pour les tons jaune et jaune ocre, on oxyde le sulfate de fer en présence de l'eau chaude et de l'air. Pour les bruns, gris, noirs, on précipite le sulfate de fer, par l'ammoniaque. Tous ces oxydes ont la même composition chimique, mais donnent des résultats bien différents comme coloration au feu.

DÉCORS DE GRAND FEU

A. — DÉCORS SOUS LA COUVERTE

Les décors sous la couverte ont été employés en Orient comme en Europe; ils se subdivisent en 4 classes.

α. *Couleurs sous couverte.* — Ce procédé qui consiste à peindre sur le cru ou le dégourdi avec des matières minérales a été employé par les Chinois. Les bleus sous couverte des Chinois sont réputés par leur belle coloration et la faculté qu'ils ont de ne pas noircir le soir à la lumière artificielle. Les essais faits en Europe pour les imiter ont été à peu près infructueux jusqu'à présent. Ces bleus sont constitués simplement par des manganèses cobaltifères contenant un peu de rutile. Employés très minces et cuits au feu réducteur, ce qui atténue l'action du manganèse en exaltant celle du rutile, ils donnent aux poteries de la Chine et du Japon, par leur fixité et leur couleur, une harmonie inimitable. Les Européens purifient les oxydes de cobalt et les emploient très purs à l'état de silicates ou d'aluminates; les silicates donnent des tons violacés et noirs; les aluminates donnent des bleus lumière opaques (essais de porcelaine nouvelle de Sèvres); de sorte que les produits obtenus diffèrent notablement de ceux de l'Orient. Le moindre excès d'épaisseur fait couler les cobalts silicatés, donne lieu à des soulèvements quand il s'agit des aluminates.

Les Chinois emploient également le minerai de cuivre oxydulé pour décorer les porcelaines en rouge sous couverte; les pièces où le bleu et le rouge sont

associés présentent d'heureux effets ; ici encore le feu réducteur est nécessaire surtout au début de la cuisson.

On emploie des oxydes de cobalt atténués par des



Fig. 19. — Porcelaine de Sèvres. Vase décoré par Mme Escalier (1882).

additions de silice ou de kaolin, des oxydes de chrome et d'iridium pour obtenir en Europe des tons bleus, verts ou noirs sous couverte.

β. *Engobes*. — En Europe on s'est servi d'*engobes* pour obtenir des porcelaines coloriées au grand feu,

L'engobe est une couche de pâte colorée interposée entre la pâte et la couverte. Elle peut être posée par trempage, par insufflation, ou bien à l'éponge. L'engobe doit être un peu moins plastique que la pâte, d'un retrait égal, d'une fusibilité un peu supérieure à celle de la pâte.

On additionne à la pâte un oxyde colorant, cobalt, chrome, etc. et, suivant les cas, un peu de pâte dégourdie broyée, un peu de couverte. Cette fabrication est rarement employée.

γ. *Pâtes colorées.* — Les pâtes colorées ont servi à fabriquer des pièces en porcelaine colorées, par suite opaques, ce qui est un contresens céramique; sur ces fonds de couleurs, on applique souvent au pinceau des reliefs de pâte blanche ou légèrement teintée : c'est ce qui constitue le genre des *pâtes d'application* si en vogue à Sèvres pendant un quart de siècle (1855-1880). Les procédés de Sèvres souvent décrits consistent en l'introduction d'oxydes colorants dans la pâte; la fusibilité se trouvant modifiée, des additions de diverses matières (alumine, couverte, etc.) étaient composées pour arriver autant que possible à une fusibilité et un retrait semblables à ceux des dessous. Diverses couleurs ne s'obtiennent qu'au feu oxydant; aussi les cazettes contenant des pièces de telle nature étaient-elles mises en communication, par des tubes en terre réfractaire, avec l'atmosphère extérieure; ce procédé de cuisson, *au courant d'air,* permet d'obtenir des bleus persans (oxydes de cobalt et de zinc), des jaunes d'urane, des roses (chro-

mate d'antimoine et de zinc), des mauves (aluminate de chrome), etc.; au feu réducteur le platine donne du gris; l'urane et l'iridium, du noir; le chrome des tons verts; le chromate de cobalt des tons turquoisés; le cobalt du bleu, etc., etc. Chaque fabricant est obligé de régler cette fabrication sur la plasticité et la fusibilité de ses pâtes. Il n'existe de palette complète ni au feu oxydant ni au feu réducteur.

δ. *Pâtes teintées.* — On a colorié quelquefois des pièces entières ou quelques parties avec des solutions de métaux colorants. Ainsi le chlorure d'or donne du rose, le nitrate de cobalt du bleu, le chlorure de platine du gris ou du noir. Au feu de dégourdi les acides sont volatilisés et l'élément métallique se combine à la pâte; ce procédé possible par trempage ou insufflation est très peu employé.

B. — DÉCORS PAR LA COUVERTE

ε. *Couvertes colorées.* — Si, au lieu de se servir de la couverte incolore, on introduit dans la couverte des éléments métalliques colorants, on obtient les plus beaux effets céramiques. Les porcelaines dures et surtout celles de Sèvres ont un point de cuisson si élevé que ce procédé ne peut donner presque aucune coloration, sauf le bleu; avec les porcelaines chinoises on obtient de magnifiques colorations. Je citerai les couvertes de bleu fouetté ou bleu noir (introduction de cobalt très manganésifère dans la couverte), de bleu de « ciel après la pluie » (cobalt peu manganésifère), de rouges et flambés (par l'introduction de plomb et

d'oxydule de cuivre dans la couverte), de céladons (au moyen de 1 à 2 p. 100 d'oxyde de fer). Toutes ces couvertes peu teintées, employées assez épaisses, font vibrer la lumière et valoir les décors en creux ou en relief de la pièce de porcelaine. Les Chinois opérant sur cru par insufflation, emploient des couvertes rendues plastiques par un peu de kaolin. Ils cuisent tous ces produits dans une atmosphère réductrice.

A Sèvres, pour la porcelaine nouvelle ou chinoise on procède sur dégourdi par insufflation; il n'est, par suite, plus nécessaire d'avoir des couvertes aussi plastiques. On y fait au feu oxydant des bleus (cobalt), des jaunes (urane), des bruns (fer et manganèse), des noirs (fer, chrome et cobalt), des roses (chrome, étain et chaux), des céladons (cuivre et chrome). Au feu réducteur on obtient des rouges et des flambés (cuivre et acide borique), des céladons (fer).

Les rouges de Chine fabriqués aujourd'hui par presque tous les céramistes ont été reproduits en Europe pour la première fois par Ébelmen et Salvétat. La température élevée des fours de porcelaine dure a seule empêché la production suivie de cette belle fabrication, qui exige une atmosphère très réductrice au moins jusqu'au moment où la couverte commence à fondre.

C. — DÉCORS SUR LA COUVERTE

ζ. *Par couvertes colorées.* — Ce procédé est très employé à Sèvres et à Limoges. Les bleus de Sèvres sur pâte dure sont fabriqués par ce moyen. La pièce

de porcelaine émaillée en blanc et cuite, on la recouvre d'une couche de couverte colorée, posée au moyen de l'essence de térébenthine, ou de tout autre plastifiant végétal.

La couverte colorée est composée de couverte blanche calcinée à haute température avec de l'oxyde de cobalt ; suivant la richesse de cet oxyde en CoO, la teneur varie de 12 à 20 p. 100. Il faut se servir de cobalt exempt d'arsenic pour éviter des taches métalliques grises ; le nickel traversant les pâtes et colorant les intérieurs et les dessous en brun doit être proscrit absolument. Un excès d'essence de térébenthine au moment de la pose fait recroqueviller la couche de couleur. Aussi sèche-t-on généralement les pièces au séchoir à 120° C. après chaque couche et au moufle à 850° C. avant le passage au four. Les pièces cuisent le mieux dans les endroits les moins chauds des fours, mais il est nécessaire que la flamme y circule, sans quoi le bleu grésille, c'est-à-dire qu'il sort du four pustuleux, gris, rendant les pièces inutilisables. En incorporant dans la couverte du cobalt, du fer et du manganèse, on obtient des bleus noirs ; le fer et le manganèse donnent des écailles brunes; l'écaille brune additionnée d'un peu de bleu de cobalt donne l'écaille verte. Par le titane, le tungstène, associés ou non à du fer, on obtient de beaux effets.

On peut au moyen de réserves décorer à la fois des pièces de plusieurs de ces couleurs. On peut aussi peindre au moyen de ces émaux de grand feu et obtenir des pièces très décoratives.

η. *Par pâtes sur couvertes.* — Les couvertes colorées des Chinois étant plastiques, on peut y appliquer au pinceau des pâtes colorées ou blanches qui sont elles-mêmes recouvertes d'une mince couche de couverte blanche. La couche de pâte interposée ainsi entre deux couches de couverte fait vibrer la lumière d'une façon charmante. Ce procédé, reproduit sur quelques pièces de porcelaine nouvelle de Sèvres, n'a pas encore eu d'applications industrielles en Europe.

DÉCORATIONS AU FEU DE MOUFLE

Le moufle est un appareil de cuisson, marchant au bois ou à tout autre combustible, permettant d'atteindre facilement les températures inférieures à 1 000° C. dans une atmosphère absolument oxydante.

D. — DÉCORS SUR BISCUIT

On a observé que certaines pièces chinoises (turquoises, violet aubergine, jaunes vifs) en couvertes colorées étaient très riches en plomb. On en a conclu que ces produits forcément cuits en atmosphère oxydante et à un feu assez faible étaient des fonds d'émaux colorés au feu de moufle. En répétant cette manière de faire sur la porcelaine nouvelle qui est moins alumineuse que les porcelaines dures riches en kaolin, on a pu obtenir les mêmes effets que j'étudie sous la désignation de :

θ. *Fonds d'émail.* — Si la porcelaine cuite en biscuit est peu riche en kaolin, on pourra la recouvrir, après

cuisson au grand feu, d'émaux au feu de moufle. Ce procédé dérivé de la faïence, et que les Chinois semblent n'employer que pour quelques effets très spéciaux, a été généralisé à Sèvres pour la porcelaine nouvelle. La plupart des pièces vues aux expositions de 1884 et 1889 à Paris sont dues à ce procédé hybride. Les émaux tantôt riches en plomb, tantôt riches en alcalis suivant la nature de l'oxyde colorant à recevoir, sont obtenus par le mélange de sable, de minium, de carbonate de soude, mêlés à sec et fondus au creuset. Le verre ou plutôt le cristal ainsi obtenu est broyé et tamisé à grains plus ou moins fins. La porcelaine biscuitée est recouverte généralement de cet émail ou vernis par le procédé de pose à l'essence décrit à propos du bleu de Sèvres; quelquefois on pose au putois la couche d'essence de térébenthine sur la pièce et on saupoudre par-dessus l'émail convenablement séché. Après chaque couche on passe au feu de moufle, il faut 2 ou 3 couches et autant de feux pour obtenir un glacé régulier.

Voici quelques formules d'émail incolore (Sèvres) :

	ÉMAIL N°		
	1	2	3
Sable de Fontainebleau. . . .	35	42	28,5
Minimum.	65	42	57
Carbonate de soude sec. . . .	»	16	»
Borax	»	»	14,5

Ces émaux sont loin d'avoir l'éclat et la beauté de la couverte dure ; leur glacé est faux, ils ne vibrent pas à la lumière comme une matière précieuse.

Les fonds colorés s'obtiendront en incorporant des oxydes en faible quantité dans ces fondants blancs.

Le fondant 1 convient mieux pour les pourpres, les roses, les violets d'or. Le fondant 2 est la base des turquoises, des bleus, des violets de manganèse. J'ajouterai que de même que sur le biscuit de faïence, on peint « sous émail » avec des couleurs fixes, on peut aussi peindre, avec les mêmes couleurs fixes, le biscuit de porcelaine nouvelle, et recouvrir ensuite d'une couche d'émail incolore ou coloré.

Cette fabrication, peu artistique à mon sens, joint encore l'inconvénient d'un glacé onduleux lorsque le feu est trop faible ; si le feu est trop fort, la couverte est comme voilée et la transparence altérée. Ce procédé deviendrait certainement industriel s'il n'était si coûteux à cause des repassages au feu; il permet l'emploi facile d'impression sur biscuit.

La température à atteindre au moufle est de 1 000 à 1 050° C., c'est-à-dire la fusion de l'or.

E. — DÉCORS SUR COUVERTE

α. *Peinture avec des couleurs.* — Les couleurs à peindre sur porcelaine sont des mélanges d'un fondant incolore et d'un oxyde colorant. En général elles glacent mal ou insuffisamment sur les porcelaines dures, mieux sur les porcelaines orientales.

Les porcelaines dures et surtout les porcelaines les plus riches en kaolin n'admettent que des couleurs très minces, le moindre excès d'épaisseur de couleur ou de fondant faisant *écailler* la porcelaine.

En effet ces couleurs ont un coefficient de dilatation si différent de celui de la porcelaine que lorsqu'il y aura le moindre excès de couleur, la traction exercée par la couleur sur la couverte sera suffisante pour broyer la couverte et la faire se soulever.

Aussi les peintures bien venues sur porcelaine dure

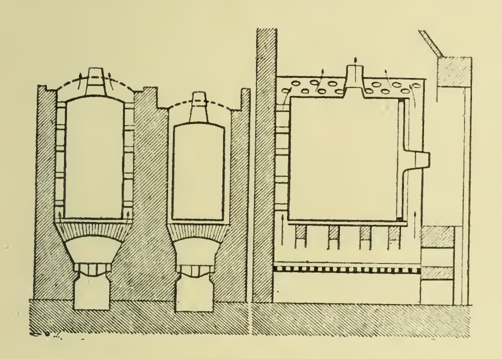


Fig. 20. — Moufles cuisant au bois pour le décor en peinture. Coupes verticales.

sont fort rares. En général ces couleurs trop riches en oxydes métalliques ne glacent pas, et souvent ne glacent pas toutes au même feu. Les magnifiques copies des tableaux du Louvre exécutées à Sèvres dans la première moitié du xixe siècle, représentent un tour de force, une gymnastique extraordinaire.

Deux palettes de couleur sont employées : 1° les couleurs à peindre sur porcelaine formées en général de 3 parties de fondant et d'une partie d'oxyde colorant; 2° les couleurs de demi-grand feu, plus riches en

oxyde et qui permettent mieux de couvrir des surfaces importantes et quelquefois des vases entiers.

Je donne les compositions des fondants les plus employés.

	ROCAILLE nº 1.	AUX GRIS nº 2.	DE CARMIN nº 3.	DE POURPRE nº 4.	DE VIOLET nº 5.	DE VERT nº 6.
Sable d'Étampes. .	25	22,22	33,33	12,50	5	9
Borax fondu	»	11,11	55,55	50	27,50	18
Minium.	75	66,66	11,11	37,50	67,50	73

J'insisterai peu sur la composition des couleurs; ces matières se trouvent couramment dans le commerce, bien préparées; je dirai seulement que l'emploi des tons chair, des roses et pourpres d'or est délicat à cause de l'action destructive possible du feu.

En général les peintures soignées sont cuites à deux feux dont le premier prend le nom de feu *de retouche* (600° C.), le second le nom de feu de peinture (800° C. environ).

Les couleurs dites de demi-grand feu cuisent vers 950° C. Elles sont composées de couleurs ordinaires enrichies par un excès d'oxyde métallique; comme les roses et les pourpres seraient détruits à cette température, on emploie pour les roses des pincks au chrome et on conserve aux pourpres leur valeur par l'addition de biscuit de porcelaine.

λ. *Peinture avec des émaux.* — J'ai dit que le moindre

excès d'épaisseur dans la pose des couleurs sur porcelaine dure faisait écailler la porcelaine. Cet écueil est

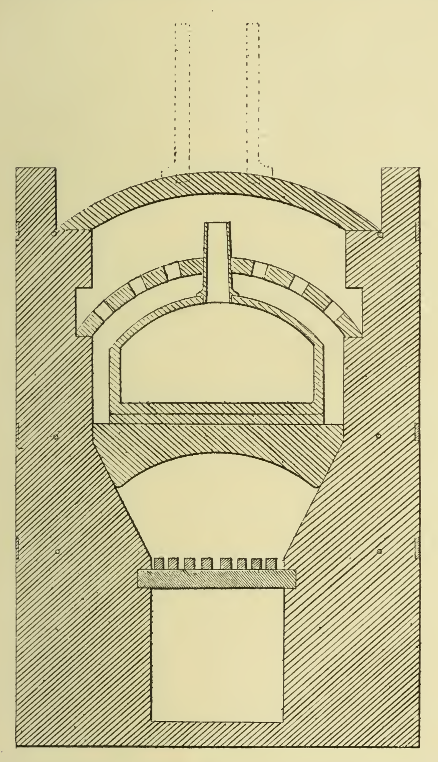


Fig. 21. — Moufle cuisant au bois pour le décor des émaux.
Coupe en travers.

évité en fabriquant des porcelaines peu alumineuses. Les porcelaines de Chine, et cela est leur caractéristique absolue, sont susceptibles de recevoir des émaux

de moufle, c est-à-dire des touches de verres ou cristaux, transparents ou opaques qui s'adaptent exacte-

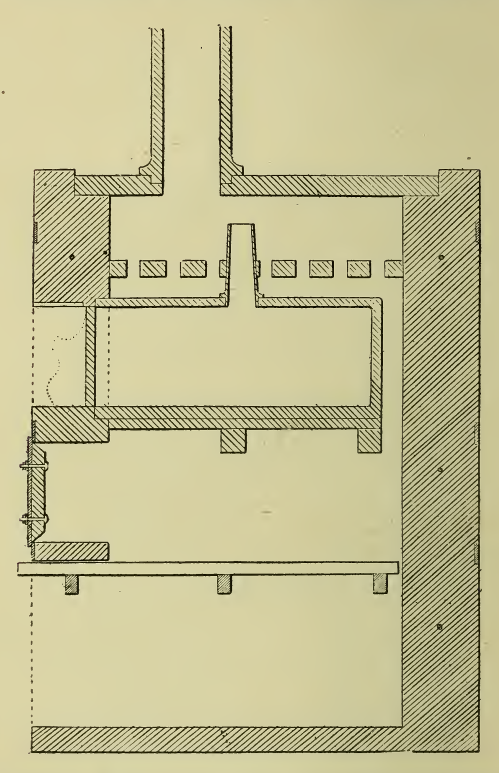


Fig. 22. — Moufle cuisant au bois pour le décor des émaux. Coupe en long.

ment au-dessous sans le soulever, sans craqueler.

Une porcelaine peut supporter des émaux d'autant plus riches et plus brillants qu'elle est moins alumi-

neuse. On obtient les émaux colorés par le procédé que j'ai expliqué plus haut à propos des fonds d'émail.

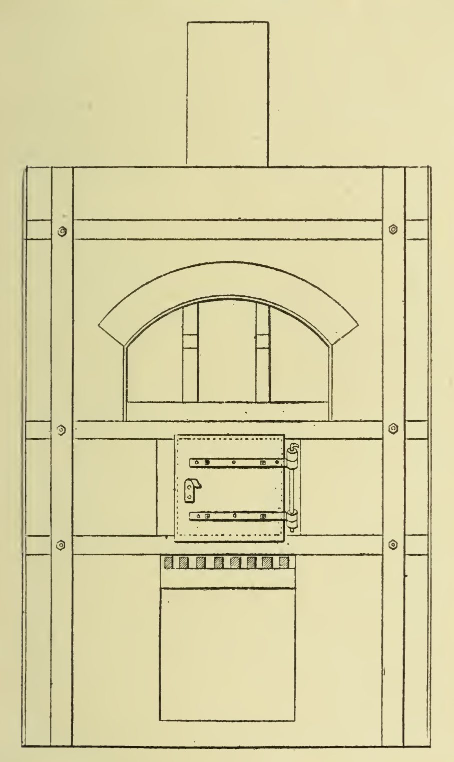


Fig. 23. — Moufle cuisant au bois pour le décor des émaux. Vue de la porte.

Les matières sont identiques. Après avoir dessiné avec du noir de peinture le cerné, et avoir séché ce décor, l'artiste remplit avec des touches d'émaux les parties

à colorier. Il semble qu'en Chine ce procédé de décoration se fasse à la température de 850° C., car la couverte blanche dure des pièces n'est pas altérée dans les pièces magnifiques de la famille verte ou de la famille rose que nous admirons dans les musées. A Sèvres, où la température atteinte au moufle est de 950 à 1 000°, la couverte blanche dure se voile et doit souvent être recouverte d'un glacis d'émail plombifère incolore.

Quelques porcelaines de Limoges, les moins alumineuses bien entendu, sont susceptibles de recevoir des décors d'émaux minces ; ce procédé ne cesse de se développer à cause de sa supériorité artistique sur celui de la peinture.

μ. *Dorures et lustres.* — L'addition de métaux dans la décoration, dont les maîtres céramistes de l'Orient n'ont pas abusé, mais dont on s'est servi à l'excès pour donner aux porcelaines dures un caractère de richesse et de beauté, doit toujours être faite avec discrétion et discernement.

Dans certains cas des ors gras épais conviendront à merveille, plus souvent il vaudra mieux se servir d'ors légers. Pour les ors épais on emploiera l'*or au miel*, si en faveur au XVIIIe siècle ; on le fabrique en broyant de l'or en feuille avec du miel ; pour les ors ordinaires, on se sert de l'or précipité de ses dissolutions par le sulfate ferreux en présence d'un grand excès d'eau. La poudre obtenue est mélangée à un fondant qui n'est autre que l'oxyde de bismuth fusible à basse température. Cet or est poli ou bruni à la sortie du

feu au moyen de pierres dures (agates ou sanguines).

On emploie beaucoup dans le commerce l'or brillant de Passau, très économique car il nécessite moins de métal précieux et supprime à peu près le brunissage; cet or brillant est un baume de soufre térébenthiné dans lequel on incorpore des sels d'or, d'étain et d'antimoine (brevets Dutertre). Tributaires longtemps de l'Allemagne pour cette matière, indispensable pour donner une apparence de richesse aux porcelaines courantes, les chimistes français ont réussi récemment à établir cette fabrication (Poulenc).

Les *lustres*, qui ont surtout été appliqués aux faïences hispano-moresques et italiennes, peuvent s'appliquer sur porcelaines en suivant les indications des anciens. On couvre la pièce d'un mélange d'ocre et d'oxydes de cuivre ou d'argent et on chauffe au moufle, au rouge sombre, en atmosphère très réductrice. Après défournement on lave la couche ocreuse, et si le feu est bien conduit, les reflets métalliques apparaissent sur la pièce. Ce procédé, employé jadis en Perse, a été repris à Sèvres il y a quelques années. Je ne pense pas qu'il soit appelé à un grand développement.

JUGEMENT DES FEUX DE MOUFLE

La variété des feux rend délicate l'opération de cuisson des moufles. En général les produits et notamment les peintures glacent mieux lorsque le feu est mené rapidement, sans soubresauts, sans arrêts pendant la marche. Les porcelainiers habiles jugent

le feu à l'œil, mais il est plus sûr d'étudier l'action du feu sur les métaux et sur le pourpre de Cassius. A mesure que le feu se développe, le pourpre de Cassius posé sur des montres de porcelaine cuite développe sa couleur, puis, lorsqu'elle est développée et que le feu continue, ce pourpre se détruit, prenant successivement des teintes caractéristiques. On pose sur les mêmes montres des touches d'or métallique dont le grain, puis la fusion, servent à indiquer les températures les plus élevées que l'on ait à atteindre dans les moufles. Je résume ici les indications principales de ces montres.

COULEUR DES CARMINS.	NATURE DE L'OR.	DEGRÉS CENTIGRADES.
Rouge brun sale. . .	N'est pas adhérent.	620
Rouge brique	—	700
Rose dans les minceurs.	—	800
Rose pourpre	—	900
Rose violacé	L'or adhère.	920
Violet	—	950
Violet pâle.	L'or se ramasse.	1 000
Blanc	L'or forme des boules.	1 050

IMPRESSION

La plupart des pièces du commerce, la totalité des services dorés de Sèvres se fabriquent par impression. Les procédés d'impression seront étudiés dans le volume de cette encyclopédie qui traitera des faïences fines.

Pour cet usage les couleurs doivent avoir un grain spécial, être finement broyées. On se sert de planches gravées à l'eau-forte ou en taille-douce, de planches lithographiques et zincographiques pour obtenir le tirage sur papier non collé au moyen de vernis lithographique. Les épreuves tirées sont imprimées à la roulette sur la pièce de porcelaine et le papier est enlevé. On poudre le dessin obtenu avec la couleur ou le métal que l'on désire obtenir.

Il est à regretter que ce procédé soit nuisible à la santé des ouvriers employés au poudrage à cause de la richesse en plomb de certaines couleurs usitées.

On peut ainsi superposer plusieurs couleurs.

La chromolithographie permet d'obtenir un grand nombre de couleurs à la fois.

DEUXIÈME PARTIE

GRÈS

CHAPITRE PREMIER

GRÈS CÉRAMES

Les grès sont des poteries qui ne diffèrent des porcelaines que par le manque absolu de transparence, Ils cuisent aux mêmes températures élevées que les porcelaines dures. Les pâtes sont compactes, agglomérées, dures, non absorbantes; la cassure est conchoïde comme celle de la porcelaine. Les glaçures, vernis ou couvertes qui recouvrent les pâtes ajoutent encore à la résistance de cette matière. On peut dire que, si la porcelaine est la véritable céramique des usages de la table et de la toilette, le grès est surtout la céramique industrielle par excellence. Son développement industriel sera fonction du développement des lois de l'hygiène. Les tuyaux de conduite d'eau, les appareils hygiéniques et sanitaires, produits avec des grès de bonne qualité, sont inattaquables à tous les réactifs sauf à l'acide fluorhydrique; le glacé de ces

produits en rend le nettoyage facile; leur texture leur donne une résistance considérable au choc, à la charge, à la pression. Grâce aux procédés employés, les prix sont minimes, permettant la vulgarisation de cette matière toute récente en Europe.

Pour résoudre le problème de fabriquer de tels produits, un grand nombre de solutions est possible, dépendant surtout de la nature de la terre à employer. Quoique des objets artistiques et de cuisine soient fabriqués avec des pâtes à grès, et que cette matière soit souvent belle par elle-même et susceptible de beaux effets, j'insisterai plutôt ici sur les applications des grès à la science de l'ingénieur, signalant en passant les moyens de décor. Pour éviter les redites je diviserai les grès en trois familles;

A. Les grès sans couverte;

B. Les grès à vernis salin;

C. Les grès à couverte feldspathique.

Pour toutes ces matières l'élément essentiel de la fabrication est l'argile.

CHAPITRE II

DES ARGILES

Si le kaolin est le squelette de la porcelaine, l'argile est le corps et l'âme du grès. Toutes les argiles ne sont pas susceptibles de donner seules de beaux grès. Les conditions à remplir sont nombreuses. D'abord l'argile doit avoir une plasticité suffisante pour permettre le travail à la main ou à la machine. Elle doit être de composition constante, se trouver en abondance, s'exploiter facilement, car le prix de revient est d'une importance extrême pour de tels produits. Sa composition chimique doit être telle qu'elle donne, à la température élevée de 1 400° C., un produit compact, non poreux, dur, sonore, d'une coloration gris bleuté au feu réducteur, jaune ocre pâle ou roux, au feu oxydant. De plus, comme les pièces à fabriquer sont généralement importantes, le retrait doit être aussi faible que possible, en général ne pas dépasser 10 p. 100. Malgré sa plasticité, cette argile doit pouvoir sécher régulièrement et rapidement.

Géologie. — Les argiles qui remplissent ces conditions se trouvent dans les terrains géologiques sédimentaires les plus variés. Elles sont toujours le résultat de la décomposition plus ou moins ancienne de



Fig. 25. — Grès d'Haviland (1882).

roches feldspathiques, décomposition suivie d'une concentration sédimentaire. Aussi rencontre-t-on fréquemment dans ces argiles des éléments non décomposés et surtout le quartz et le mica; le feldspath est bien moins fréquent. Quelquefois aussi une certaine proportion de calcaire est mêlé à l'argile, de même que des peroxydes de fer et de manganèse. On doit

proscrire les argiles contenant du gypse, des pyrites, de la craie en excès.

On rencontre des terres à grès dans les terrains géologiques de tout âge depuis le cambrien jusqu'au pliocène.

On doit choisir de préférence des couches horizontales ou à peu près, épaisses, non bouleversées, d'une exploitation facile, d'une grande égalité. L'exploitation se fait généralement par gradins droits et ne présente guère de difficulté.

PROPRIÉTÉS DES ARGILES A GRÈS

Ces argiles au moment de leur extraction présentent les couleurs les plus variées : grises, bleues, jaunes, noires, violacées; on ne peut juger la valeur de ces matières qu'après passage au feu.

Il faut tout d'abord s'assurer de la présence de la craie ou de carbonates alcalins et de celle des pyrites. L'effervescence des carbonates par les acides légers, l'attaque des pyrites par l'eau régale donnent des dissolutions qui permettent de reconnaître et de doser rapidement ces éléments nuisibles. Avant de procéder à l'analyse chimique toujours longue et délicate, on s'assurera du retrait de l'argile. Pour cela on transformera un morceau d'argile brute telle qu'elle vient de la carrière en un parallélipipède sur les faces duquel on tracera à la pointe des lignes de longueur déterminée ; on procédera de même avec un parallélipipède moulé avec de l'argile délayée avec de l'eau. On mesu-

rera le retrait au séchage, à un feu correspondant au rouge naissant, à un feu correspondant à un feu de globe de four à porcelaine dure, à un feu de porcelaine dure ou de grès.

Le retrait de ces terres ne se fait pas comme pour

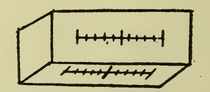


Fig. 26. — Parallélipipède moulé pour la mesure du retrait.

le kaolin. Ainsi je donne les chiffres moyens observés à mon laboratoire pour diverses bonnes terres à grès et pour un kaolin lavé d'Angleterre :

	KAOLIN anglais.	ARGILE à grès de Rambervillers.	ARGILE à grès de Dieulefit.	ARGILE allemande de Nassau.	Moyenne des 3 argiles.
Retrait de 0 à 110° C.	5,2	4,8	3,9	5,7	4,8
De 110° C. à 800° C.	4,1	8,1	9,1	7,2	8,1
De 800° C. à 1 250° C.	4,2	0,9	0,7	1,1	0,9
De 1 250° C. à 1 400° C.	6,1	»	»	»	»
Total. . .	19,6	13,8	13,7	14,0	13,8

Si l'on prend le chiffre moyen des trois argiles et si l'on trace le graphique comparativement au kaolin, on est frappé de voir que de bonnes terres à grès s'arrêtent de retraiter vers 1 250° C., les argiles kaolinaires continuant leur travail après cette température ; de plus

la différence de retrait est de près de 6 p. 100 ; si l'on tient compte de ce fait que les grès sont séchés avant d'être enfournés, leur retrait au four n'est que de 9 p. 100 ; c'est-à-dire notablement inférieur à celui des pâtes à porcelaine.

On mesurera aussi le temps que les argiles mettent

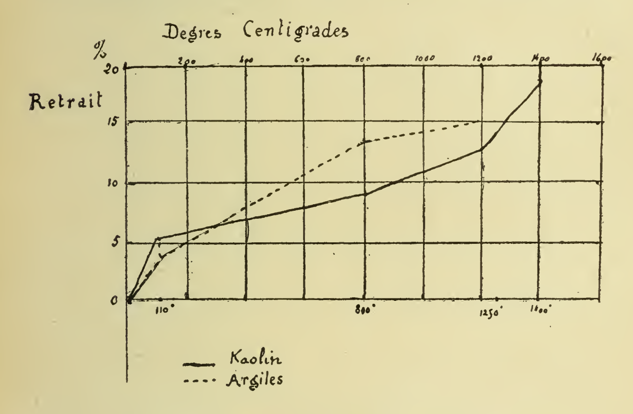


Fig. 27. — Graphique montrant le retrait des kaolins et des argiles.

à perdre leur eau de carrière ; à cet effet on prendra les terres fraîchement extraites à la carrière en gros fragments de 7 à 800 grammes que l'on enfermera dans des boîtes hermétiquement closes pour les expérimenter au laboratoire.

On les met dans une étuve à 50° C. où l'air peut circuler et l'on note le temps au bout duquel les fragments ne perdent plus de poids. On fait de même dans une étuve à 110° C. La durée de séchage servira de

guide pour la nature et la quantité d'éléments dégraissants à ajouter. En général les argiles des terrains schisteux carbonifères d'Angleterre, si employées pour le grès, sèchent complètement en 42 heures, les argiles de Nassau en 52 heures, les argiles de Dieulefit en 56 heures, celles de Bollène et de Rambervillers en 60 heures. On peut compter que, pour toutes ces terres, des deux tiers aux trois quarts de l'eau de carrière sont éliminés à 50° C., le reste à 110° C.

On étudiera ensuite la plasticité qui doit toujours être forte, vu qu'il est facile de dégraisser, difficile de rendre plus plastique. Enfin on étudiera les propriétés chimiques absolues de la terre par l'analyse complète.

Voici quelques analyses de terres à grès de France, d'Allemagne, d'Angleterre et d'Orient, avec le groupement hypothétique, ainsi que j'ai expliqué à propos de la porcelaine.

On voit les variations d'une matière à l'autre et pourtant les grès, faits avec les terres de Longport et celles de Rambervillers, sont d'aspect presque identique. On peut dire que la liaison des éléments de ces grès est obtenue soit par les alcalis, soit par la chaux, soit par l'oxyde de fer, soit par un mélange de ces corps.

Une argile chimiquement pure additionnée de silice ne donnera jamais, aux températures industrielles, qu'une terre cuite. J'ai indiqué pour les analyses allemandes de Seger le groupement hypothétique; inutile de répéter ici ce que j'ai dit pour les porcelaines :

Analyses des terres à grès.

	VOISIN-LIEU.	SAINT-AMAND.	RAMBER-VILLERS.	DIEULEFIT	LONGPORT	KOTTCKEN	SEDEZ.	HOHR.	BAUMBACH	LAMMERS-BACH.	BERNDORF	CHINE.	JAPON.
Silice.	74,3	75,00	73,45	56,00	55,75	59,42	66,76	70,12	59,28	64,53	78,22	62,00	62,04
Alumine.	19,5	22,10	18,03	27,20	16,70	27,15	20,94	21,43	28,65	24,59	14,92	22,00	20,30
Fe^2O^3.	3,9	1,00	2,47	4,10	13,40	1,77	1,92	0,77	1,29	1,01	0,77	14,00	15,58
CaO	0,5	0,25	1,15	»	3,10	»	»	»	»	»	»	0,50	1,08
MgO	0,8	»	»	»	»	0,52	0,81	0,39	0,61	0,34	0,35	»	»
KO + NaO . . .	0,5	0,84	0,95	0,35	»	1,50	4,64	2,62	3,44	3,06	2,11	1,00	»
HO.	»	»	4,10	12,20	10,75	9,85	4,43	4,92	7,39	6,55	3,78	»	»
Analystes . .	Salvétat	Salvétat	Auscher	Auscher	Salvétat	Seger	Seger	Seger	Seger	Seger	Seger	Salv état	Salvétat
GROUPEMENT HYPOTHÉTIQUE													
Quartz..	»	»	»	»	»	23,06	35,08	41,77	22,40	31,42	57,15	»	»
Feldspath. . . .	»	»	»	»	»	4,73	2,89	3,50	1,30	2,35	3,14	»	»
Argile.	»	»	»	»	»	72,21	62,03	54,73	76,30	66,23	39,71	»	»

à savoir que le mica est un élément fréquent dans ces argiles ; j'ai constaté indubitablement sa présence dans les argiles employées à Londres (Lambeth), dans les terres de Rambervillers ; au contraire, je n'en ai pas rencontré dans les terres de Bollène et de Dieulefit.

L'inégalité de composition des bancs d'argile oblige encore ici le potier à faire des mélanges des terres de diverses couches, ou de carrières voisines. Il trouve à la fois une égalité de composition un peu plus certaine et le travail qu'il est obligé de faire pour mêler ces terres améliore les qualités de la masse.

Le mélange de ces terres est quelquefois additionné de dégraissants : quartz, ciment provenant du broyage de grès inutilisables ; ces éléments sont broyés impalpables et servent à amener la terre au degré de plasticité voulue ; ils facilitent aussi le séchage et donnent aux pièces crues une stabilité qui serait insuffisante sans cette précaution. Pour des terres micacées la quantité de dégraissant à employer est moins grande, le mica facilitant le séchage et donnant de la résistance. Les limites extrêmes de matière dégraissante sont de 20 à 50 p. 100 suivant la plasticité de la terre, le mode de travail, et surtout la dimension des pièces. Ces additions de quartz et de ciment diminuent le retrait de 2 à 3,5 p. 100 sans changer la fusibilité d'une façon appréciable.

Il n'en est pas de même du broyage ; si l'on prend le soin de broyer un mélange de terre à grès et de

ciment à divers degrés de finesse, 120, 150, 180, on constatera une augmentation de fusibilité assez notable lorsque la finesse est plus grande.

Ceci dit sur la matière première essentielle de la fabrication des grès, les autres additions se faisant avec des matériaux étudiés à propos de la porcelaine, je passe à l'étude des trois familles de grès.

CHAPITRE III

LES GRÈS SANS COUVERTE

Les grès sans couverte se fabriquent généralement avec des argiles assez ocreuses, plus ou moins fines, qui, en cuisant à une température de 1350° à 1500°, donnent de véritables biscuits teintés, opaques, mais agglomérés. La technique en est excessivement simple, l'argile est, suivant les cas, lavée (pour la débarrasser d'éléments étrangers), broyée ou non. La terre est façonnée au tour ou au moule ; quelquefois à la presse. Le feu est donné ainsi qu'il sera dit au chapitre de la cuisson.

C'est ainsi que des argiles d'origine gneissique du gisement d'Aue (Saxe), cuites par Boëttger, lui ont donné les premiers produits saxons, noirs ou rouges, qu'on a à tort qualifiés de porcelaines ; les objets sortant rugueux du four étaient polis au tour du lapidaire et décorés par des entailles obtenues à la meule. La pâte est fine, serrée. L'aspect est celui de certains porphyres. Ces grès imitent ceux des Japonais, ces

grands maîtres dans la technique du grès, comme les Chinois le sont dans l'art de la porcelaine.

Les Japonais ont en effet produit des objets très variés de forme et de couleur, en procédant ainsi. Des



Fig. 28. — Grès d'Haviland (1882).

kaolins riches en fer associés à des argiles, des argiles naturelles pures, leur ont permis de fabriquer de charmants objets noirs, rouges, bruns, jaunes, gris, verdâtres. Le grain est tantôt serré, tantôt un peu rugueux; mais toujours la matière permet de contenir des liquides sans les laisser filtrer; ces objets subissent facilement des variations de température.

Qui ne connaît les charmantes théières du Japon ou boccaro, noires, brunes ou rouges, finement gravées en creux ou décorées en relief par des rapports de même matière, si légères et conservant si bien l'arome du thé ! La fantaisie des céramistes japonais s'est exercée dans cet art de terre. Nous pouvons admirer dans les musées des théières en forme de défenses de rhinocéros, de tranches de bambous, de fruits, d'oiseaux, etc. Quelques parties sont décorées très sobrement, à un feu de moufle ultérieur, de touches d'émaux absolument semblables à ceux décrits pour la porcelaine chinoise, quelquefois ces émaux sont opacifiés par un peu d'oxyde d'étain.

Ce procédé sert actuellement en Europe à fabriquer des objets industriels, tels que pavés, bordures de trottoirs, bordures pour jardins, etc. Ces produits, qui s'appellent pavés céramiques en France, terro-metallic ou stone-ware en Angleterre, sont justement appréciés à cause de leur propreté, de leur solidité, de leur usage ; j'ajouterai que ces pavages ne sont pas glissants et que, par suite de leur durée, ils présentent pour les municipalités une notable économie.

On les fabrique avec des terres à grès très riches en fer (jusqu'à 20 p. 100 de fer) provenant des terrains permiens et triasiques. Le travail est fait avec une pâte à peine humide, les pièces sont pressées à la presse à bras ou à la presse hydraulique ; l'épaisseur des produits exige une dessiccation lente et une cuisson sagement conduite pendant laquelle une atmosphère très réductrice est indispensable.

CHAPITRE IV

LES GRÈS A VERNIS SALIN

Les grès à vernis au sel sont les plus nombreux, les plus importants. Ils diffèrent peu des grès sans couverte au point de vue de la matière ; l'argile pure est employée quelquefois telle qu'elle sort de la carrière sans être mélangée ou broyée ; d'autres fois on mélange et on broie différentes argiles ; on malaxe dans d'autres usines l'argile avec du sable ou du quartz, avec du ciment broyé. En un mot, on cherche à se reporter aux conditions indiquées à propos du choix des argiles à grès.

Dans des fours appropriés qui seront décrits plus loin, cette pâte est cuite à température élevée avant de subir dans le four l'importante opération du salage. Cette opération consiste à projeter dans le four du sel marin qui se volatilise grâce à la température élevée du four (1 300 à 1 400 C.) ; ce sel marin attaque la terre à grès, la pénètre successivement, formant un silicate alcalin qui augmente l'agglomération des molécules

de la terre, laissant à sa surface, si la quantité de sel est suffisante, une couche glacée d'épaisseur variable. L'expérience m'a conduit à résumer ainsi qu'il suit les conditions du salage.

Le sel doit être projeté lorsqu'un échantillon de terre, tiré du four et refroidi, n'est plus capable d'absorber que quelques pour cent d'eau. En dessous de ce point le sel est absorbé irrégulièrement par la terre et il reste au milieu des pièces une zone poreuse non salifiée, ce qui peut entraîner la fracture de la pièce et diminuer sa qualité. Si la terre est trop cuite, si l'échantillon tiré du four n'est plus absorbant, le sel ne pénétrera plus que difficilement, il se formera à la surface de la pièce des accumulations vermiculées. De plus, il faut donner à la réaction le temps de se produire, par suite espacer les charges de sel que l'on projette dans le four.

On espace plus les charges de sel pour des pièces épaisses que pour des pièces minces. La quantité de sel varie énormément d'un fabricant à un autre ; les limites extrêmes que j'ai constatées sont de $0^{kil},350$ à $4^{kil},500$ de sel par mètre cube de four. Il est bien évident que la quantité de sel à employer est liée à la vitesse du tirage et que dans un four à tirage lent la durée de contact du sel est mieux utilisée. Les intervalles de charge sont de 20, 30 ou 40 minutes. Leur nombre est de 2, 3, 4 et quelquefois 5. Il faut avoir soin de se servir, pendant toute la durée du salage, soit de bois humide, soit, si l'on se sert de combustibles minéraux, de les brûler avec de l'air très chargé de vapeur

d'eau. Il semble que le salage ne puisse se bien faire qu'en présence de vapeur d'eau (dissociée ou non) qui facilite sans doute les réactions du sel marin avec la silice et l'alumine de la pâte.

L'atmosphère oxydante donne des produits jaunes ou roux, l'atmosphère réductrice des produits gris, verdâtres, bleutés.

Pour cette fabrication il est indispensable de régler le four admirablement au point de vue de la combustion.

1° *Feu oxydant.* — Si l'on veut obtenir des produits jaunes ou roux, on fera bien de ne pas se servir de terres tenant plus de 8 à 10 p. 100 de fer (dosé à l'état de peroxyde). La première partie de la cuisson pourra être réductrice ou oxydante jusqu'à une température de 1 000° ou 1 100°; à partir de ce moment, on pourra être neutre ou oxydant suivant que l'on veut obtenir des colorations plus ou moins foncées.

On sera réducteur pendant la durée du salage, ce qui est indispensable, et, le salage fini, on ira quelque temps en atmosphère très oxydante.

Dans certaines usines, pour abaisser le point de cuisson sans améliorer les qualités du produit, on engobe le grès soit d'une couche de peroxyde de fer ou de terre très ocreuse, soit d'un mélange de laitier de haut fourneau, de terre ocreuse et de sable par parties égales. L'aspect extérieur de ces produits est bon, mais la cassure est souvent bien absorbante au cœur des pièces.

2° *Feu réducteur.* — Pour obtenir des grès à ton gris

(comme les grès mosans et rhénans), à tons bleutés (tuyaux de grès ou sanitary pipes), on cuit en atmosphère réductrice. Pour cela, on devra, quel que soit le système d'enfournement, resserrer les produits, pour que les espaces réservés au passage des gaz soient aussi étroits que possible; le four devra avoir bien moins de tirage que pour le feu oxydant. Toutes choses égales d'ailleurs, la cheminée d'un four à grès réducteur n'aura que les deux tiers de la hauteur de la cheminée d'un four à grès oxydant. On ira lentement jusqu'au rouge vif, point où le retrait se parfait et où les pièces lourdes ou épaisses pourraient se casser.

A partir de ce moment on activera le feu en cherchant à avoir une flamme longue comme on le fait pour la porcelaine, et l'on atteindra ainsi le moment du salage ; pendant le salage, l'atmosphère sera maintenue fuligineuse et humide, comme je l'ai expliqué et, après le salage, on donnera un dernier coup de feu pour terminer la cuisson.

En général le four doit être construit pour cuire en atmosphère oxydante, ou bien en atmosphère réductrice. Certains fours de l'industrie permettent en variant les rentrées d'air, le tirage, etc., de changer la nature des gaz, mais de tels fours ne donnent pas de sécurité au fabricant. D'abord le cuiseur est loin d'être un physicien observant à chaque instant la nature des gaz et du tirage ; de plus, il est difficile de surveiller d'une façon constante des fours dont la durée dépasse quelquefois 72 heures. Le four doit donc être calculé et construit suivant l'atmosphère à obtenir.

Les alternances d'oxydation et de réduction présentent en effet des inconvénients graves ; j'attribue à ces faits les bouillons et pustules si fréquents dans certaines fabrications. En effet, dans des argiles riches en fer (de 1,5 à 15 p. 100), comme les argiles à grès, si l'on passe brusquement, au moment où la terre s'agglomère, d'oxydation à réduction, on provoque un dégagement d'oxygène. Le protoxyde de fer qui donne la coloration gris bleuté FeO contient 77,7 p. 100 de fer et 22,3 p. 100 d'oxygène ; le sesquioxyde Fe^2O^3, qui donne la coloration rousse, contient 70 p. 100 de fer et 30 p. 100 d'oxygène. Ainsi donc, ce changement de couleur est accompagné d'un dégagement gazeux de 8 p. 100 du poids de sel de fer, fort capable, si la couche extérieure commence à s'empâter, de produire des bouillons. Je dirai que si de tels phénomènes me semblent être la cause fréquente des pustules ou bouillons, j'en ai vu se produire avec atmosphère de four très régulière, lorsque la marche était trop rapide entre 1100° et 1300° C. ; il se produit alors le phénomène qui accompagne la production des pommes de terre soufflées ; la pellicule extérieure est solidifiée et gonflée, distendue par des gaz intérieurs qui n'avaien pu se dégager.

Quelquefois on défourne des produits gris d'un côté, jaunes de l'autre ; ces produits sont moins appréciés que ceux qui ont une uniformité de coloration.

La même terre cuite au feu oxydant et au feu réducteur n'a pas la même fusibilité ; l'agglomération, la vitrification sont plus fortes au feu oxydant.

Je n'ai pas besoin de dire que la cuisson, surtout pour de grandes pièces, doit être lente pour gagner progressivement toute la masse; le refroidissement des fours doit se faire aussi lentement ; la durée de cuisson est de 2 à 3/10 plus longue que pour la porcelaine.

C'est le grès à vernis salin qui sert à fabriquer les tuyaux en grès si employés pour les conduites d'eau et dont je n'ai pas à vanter les qualités. L'emploi en devient tous les jours plus grand à cause de leur durée, de leur inaltérabilité.

Les ingénieurs, avant d'adopter tel ou tel produit, soumettent ces tuyaux à des expériences variées.

Des essais sont faits pour la rupture et l'écrasement. On opère sur un certain nombre de tuyaux et on prend la moyenne des chiffres observés. D'autres essais de rupture sont faits avec la presse hydraulique. L'absorption de l'eau est mesurée avec soin. Un grès de bonne qualité doit avoir une limite moyenne de rupture par écrasement de 1 500 kil. Certains produits résistent jusqu'à 1 680 kil.

Fig. 29. — Tuyaux en grès cérames.

A la presse hydraulique la rupture doit se faire au-dessus d'une pression de 5 kil. Les tuyaux du commerce dépassent ce chiffre; l'eau absorbée par immersion ne doit pas dépasser 2 p. 100; mais, sauf les produits français de bonne marque, cette condition

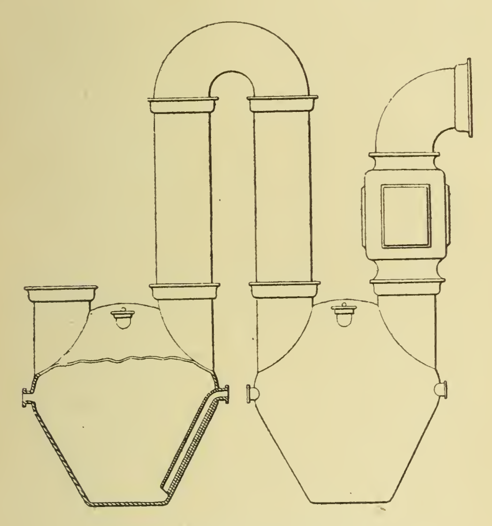


Fig. 30. — Touries en grès cérames.

n'est jamais remplie, surtout par les produits anglais.

La fabrication de ces grès, industrie florissante en Angleterre, se développe quotidiennement en France, grâce aux efforts de nos industriels. Malheureusement, un grand nombre d'architectes et d'ingénieurs, ignorant les progrès réalisés par notre industrie nationale depuis dix ans, demandent encore au com-

merce des produits anglais, alors que l'on trouve des produits français en meilleure qualité et à meilleur compte.

On fabrique également, par ce procédé, des cruches, des dames-jeannes ou tourilles pour les réactifs ; des serpentins de grande dimension, des fontaines ou filtres, des pots à salaisons, etc.

Cette classe de grès comprend les grès rhénans et

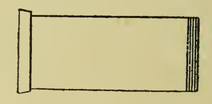


Fig. 31. — Tuyau en grès cérame.

mosans qui depuis le XVIe siècle sont fabriqués en Allemagne, avec les terres de Valendar, près Coblentz. Ces terres fines et peu riches en fer sont cuites en atmosphère réductrice; sur le cru, les creux et les saillies sont frottés avec du minerai de cobalt ou de manganèse ; aussi, après l'action du feu, les creux sont-ils généralement remplis d'un vernis cobaltifère ou manganifère d'un aspect heureux. Nos musées possèdent des spécimens nombreux d'un art de terre destiné certainement à une renaissance prochaine.

CHAPITRE V

GRÈS A COUVERTE FELDSPATHIQUE

Ces poteries se rapprochent des porcelaines. Lorsque l'on examine une collection de produits céramiques de la Chine, il est difficile de différencier certaines porcelaines des grès de cette famille. Car il y a gradation insaisissable de la porcelaine au grès à couverte feldspathique. La seule différence est que la pâte, quoique vitrifiée, n'est plus transparente.

Les procédés que j'ai décrits pour la porcelaine de Chine s'appliquent intégralement aux grès ; la vérité est que les grès chinois à couverte feldspathique diffèrent des porcelaines dures, surtout par une teneur en fer plus forte de la pâte. Les kaolins sont plus impurs, les micas sont plus ferrugineux ; je n'insisterai donc pas sur la technologie de ces produits, entièrement décrite à propos de la porcelaine.

1° On rencontre des grès recouverts de couvertes rouges, flambées, céladon, etc. En France on fabrique beaucoup de grès à pâte blanche ne différant de la porcelaine que par l'opacité. Ces produits présentent

sur les porcelaines l'avantage d'un travail plus facile, d'une cuisson un peu plus faible; on arrive à les rendre plus résistants à l'action des variations de température par des additions judicieuses. On peut fabriquer directement de telles pâtes, en partant de la pâte à porcelaine; on additionne la pâte à porcelaine d'argile plastique fine et d'éléments siliceux. Un mélange de

Pâte à porcelaine de Limoges	70
Argile blanche de Valendar.	15
Biscuit de grès broyé	3
Sable quartzeux broyé.	12
	100

donne une grande facilité de travail. Le grain du sable quartzeux n'est pas indifférent; pour avoir un séchage facile, un produit allant au feu (plats pour cuire les œufs, cafetières, etc.), il vaut mieux le grain des sables de Fontainebleau. Si l'on préfère un peu plus de fusibilité et un aspect plus fin, il vaut mieux se servir de sable broyé au degré 80. On engobe souvent le grès contenant du sable grossier d'un grès de même nature mais broyé impalpable; on a ainsi, avec les aspects de la porcelaine, la sécurité de fabrication du grès.

2° On compose directement la pâte par un mélange d'argile à grès, de kaolins plus ou moins purs, de sables feldspathiques et de quartz, quelquefois de craie. La variation de chacun de ces éléments, grande d'une localité à l'autre, m'empêche de donner des formules bien précises. Voilà quelques recettes qui réussissent généralement :

On peut mélanger par exemple 2/3 d'argile plastique et 1/3 de sables kaolinaires feldspathiques; ou bien 1/2 d'argile plastique et 1/2 de sables kaolinaires plus riches en kaolin, et obtenir après broyage de bonnes pâtes.

La couverte n'est autre que la couverte de porcelaine dure de Limoges, à laquelle on ajoute, suivant les cas, de 5 à 15 p. 100 de marbre impalpable; quelquefois un peu de quartz (2 à 5 p. 100). Les limites extrêmes sont la couverte de Limoges et une couverte composée de :

Couverte de Limoges.	80
Biscuit de grès blanc.	2
Marbre broyé	13
Quartz	5
	100

cette dernière étant la plus fusible.

Je citerai encore quelques fabrications : à Saint-Uze et à Saint-Vallier, on se sert de l'argile contenue dans les sables kaolinaires de Saint-Uze qui donnent un rendement de 15 à 20 p. 100 en argile; on y ajoute du kaolin de Saint-Foye-l'Argentière qui provient d'une granulite décomposée, et de l'argile de Larnage; une formule qui réussit bien et qui est due à M. C. Lhospied, du Golfe-Juan, est la suivante :

Sable de Decize	44
Argile de Larnage.	20
Kaolin de l'Allier	36
	100

Cette pâte reçoit facilement la couverte de porce-

laine orientale de Sèvres (voir p. 90), elle est généralement émaillée avec une couverte de Limoges additionnée de craie.

La couverte bleue est obtenue par l'addition de 3 p. 100 d'oxyde de cobalt; d'autres couvertes, roses, vertes, etc., par l'addition de 10 p. 100 d'oxyde colorant et de 5 p. 100 de céruse à 85 p. 100 de couverte incolore.

On obtient des couvertes colorées plus vives en se servant d'une couverte boracique composée par M. Lhospied avec :

Kaolin calciné	30
Silex	35
Craie	30
Fritte boracique	15
	100

Les bruns s'obtiennent soit avec une terre des environs, riche en fer et en manganèse, soit par l'addition de bichromate de potasse et de sulfate de fer à la couverte blanche.

A Paray on se sert d'une couverte de pâte à porcelaine additionnée de 17 p. 100 de craie.

A Neuvy où se fabriquent tant d'objets usuels, la terre un peu grise est recouverte d'une engobe qui correspond à une véritable pâte de faïence fine. Elle est recouverte elle-même d'une des couvertes suivantes :

1°	Kaolin	30
	Silice	35
	Craic	35
	Céruse	10
		100

Mais souvent, on n'arrive pas à masquer ainsi la couleur du dessous on a alors recours à :

2° Tesson de porcelaine	18
Craie	18
Sable kaolinaire	18
Feldspath	18
Kaolin	18
Oxyde d'étain	10
	100

Je pourrai citer d'autres formules et surtout des formules d'émaux colorés de grand feu capables de couvrir ou de décorer les grès; mais aujourd'hui la spécialisation est la règle dans l'industrie, et la fabrication de ces émaux est une industrie nouvelle, brillamment créée au Golfe-Juan, par M. C. Lhospied, ce qui permet à chacun de se procurer facilement les émaux ou couvertes colorées s'adaptant sur sa pâte.

La technique de ces grès est presque celle de la porcelaine; on fabrique les pâtes généralement au malaxeur décrit à propos de la cazetterie. Le tournage, le moulage, le garnissage se font facilement, grâce à la bonne plasticité; on dégourdit, on émaille et on cuit comme pour la porcelaine. Tous les procédés de décor sous couverte, en couvertes colorées, etc., ont été appliqués à ces matières.

J'ajouterai que le biscuit de telles matières est susceptible de recevoir au feu de moufle des glaçures plombifères (comme celles décrites à propos de la porcelaine orientale), des glaçures stannifères et boraciques (comme celles qui seront détaillées à propos

des faïences). Les Japonais ont fabriqué et fabriquent encore de nombreuses pièces de cette classe. Suivant le génie du potier, la pâte, la couleur, les procédés d'émaillage présentent une variété infinie qui enlève



Fig. 32. — Grès par Haviland.

aux collections de poteries japonaises le caractère monotone d'autres productions. Je citerai sur pâte fine très cuite des couvertes feldspathiques flambées et noires, des couvertes stannifères blanches et bleutées, des couvertes plombifères, vertes et blanches, etc.

CHAPITRE VI

TECHNOLOGIE DU GRÈS

Les pâtes, suivant les usages, étant plus ou moins fines, les outils seront différents.

Si la terre est impure et s'il faut la laver, opération coûteuse qui demande beaucoup d'eau, on la découpera humide à la lame et on délayera en présence d'un fort volume d'eau; on éliminera ainsi les rognons de quartz, de gypse, de spaths, etc.

Il faudra ensuite raffermir la bouillie ou barbotine dans des bacs en ciment ou en briques absorbantes.

La terre est généralement exploitée en été et en automne, et on la laisse geler en hiver sur une aire en ciment en pente douce, où on la dispose en couches minces, exposées à la pluie. Les pyrites sont ainsi éliminées et oxydées, le carbonate de chaux est bicarbonaté et rendu soluble, les sels de peroxyde de fer sont partiellement dissous et entraînés. Cette opération est excellente par la qualité et l'homogénéité qu'elle donne aux produits.

Le ciment, fabriqué avec les débris des grès inutilisés, est concassé au squeezer et broyé impalpable ou non, dans les appareils décrits pour la porcelaine (voir page 134). Il en est de même des quartzites.

Souvent les terres, séchées convenablement, sont broyées dans un véritable moulin à café de grandes dimensions, qui exige une force de cinq chevaux pour broyer 250 kilos d'argile de plasticité moyenne, par heure.

Tous les éléments pesés ou volumés sont travaillés au malaxeur comme il a été dit page 134 pour les terres à cazettes.

Les pâtes terminées sont employées à l'état mou pour le tournage et le moulage; la quantité d'eau est un peu moins grande pour la fabrication des tuyaux par presse. Les presses hydrauliques qui donnent par laminage de la terre les tuyaux à manchon (joints à bague) et les tuyaux à tulipe (joints par emboîtement) seront décrites dans le volume de cette collection, relatif aux briques, aux tuiles et aux terres cuites et ce à propos de la fabrication des tuyaux de drainage.

Les produits fabriqués sont recouverts quelquefois après séchage des engobes ferrugineuses ou alcalines que j'ai indiquées plus haut (voir p. 207) et le séchage terminé, les pièces sont disposées dans les fours.

CHAPITRE VII

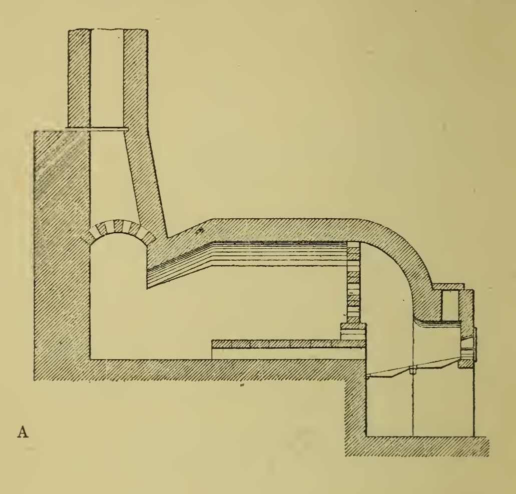
FOURS A GRÈS

Pour la fabrication des grès sans couverte, des grès feldspathiques, on se sert de fours qui ne diffèrent en rien des fours à porcelaine et à faïence fine; ils sont au bois ou au charbon, à flamme directe ou renversée.

Pour les grès à glaçure saline, on se sert des mêmes fours, mais aussi de fours couchés, véritables fours à réverbère, voisins de ceux de la Chine. Le foyer est double ou triple, ainsi que le montre la figure 33. Le type que j'indique est surtout utilisable pour des grès cuisant au feu réducteur.

On emploie aussi les fours à gaz qui donnent à Rambervillers les meilleurs résultats. La houille est transformée en oxyde de carbone et en carbures. Ces gaz s'allument, au contact de l'air chauffé par le passage dans des chambres qui refroidissent, au haut de chambres de 30 mètres cubes disposées en deux rangées de six chambres. Ces fours, du système continu

Bourry construits en 1885 et que j'ai modifiés en 1891, permettent de faire deux cuissons en 24 heures.



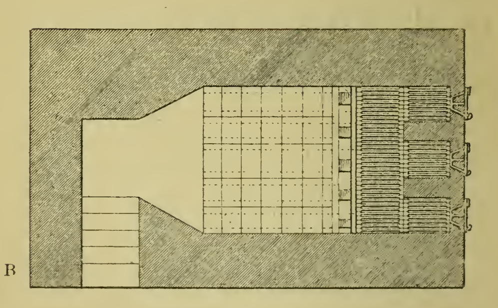


Fig. 33. — Four couché pour la fabrication des grès.
A Coupe verticale. B Plan.

L'économie de combustible par rapport au charbon est de 25 à 30 p. 100. Lorsque l'enfournement est suf-

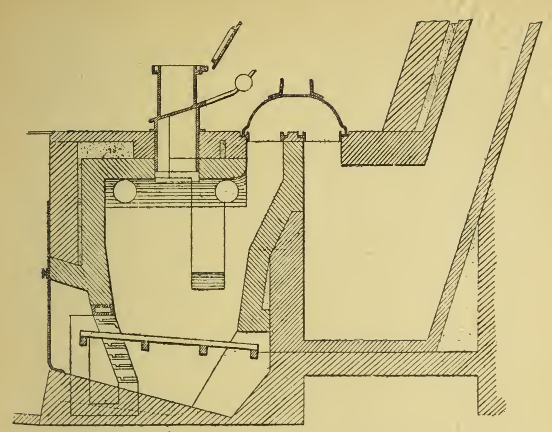


FIG. 34. — Coupe d'un gazogène pour four à gaz.

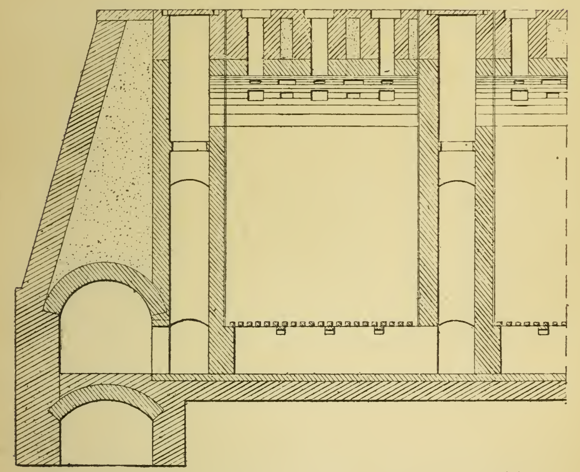


FIG. 35. — Coupe sur un four à grès montrant la disposition d'une des douze chambres.

fisamment serré, que les chambres sont bien pleines,

on obtient facilement le ton gris bleuté. Au contraire, lorsque l'enfournement est irrégulier, on obtient des produits de couleurs variées.

L'enfournement se fait à feu nu, ou, pour des pièces fines, en cazettes percées de trous pour laisser passer les gaz et le sel marin; quelquefois des planchers superposés formés de plaques de terre séparent les pièces.

Pour les grès à couvertes feldspathiques on dégourdit d'abord au globe, on émaille ensuite par trempage et on cuit en cazettes comme pour la porcelaine.

Certains grès de cette famille sont émaillés sur cru lorsque la dureté en cru le permet. On procède alors par immersion ou par insufflation.

L'avenir du grès, matière si facile à cuire et à décorer, est considérable; sans parler des applications à l'art de l'ingénieur et du constructeur qui sont infinies, il faut signaler les heureuses tentatives de décor de cette matière par des couvertes colorées et flambées (Delaherche, Jacob, Haviland, etc.). Le nombre de terres employables pour ce genre de fabrication est immense et l'on peut dire qu'en France ce sujet est à peine effleuré. Espérons que le développement de cette industrie dans notre pays limitera l'envahissement des produits anglais similaires.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE

GRÈS

Paris. — Typ. Chamerot et Renouard, 19, rue des Saints-Pères. — 31662.

666.3
7u7c

E.-S. AUSCHER
Ingénieur des Arts et Manufactures

LES CÉRAMIQUES CUISANT A HAUTE TEMPÉRATURE

AVEC TRENTE-CINQ FIGURES DANS LE TEXTE

PARIS
J. RUEFF, ÉDITEUR
106, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 106

1899

Tous Droits réservés.



Paris. — Typ. Chamerot et Renouard. — 31662


UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 070433542